

www.geomagazin.hu

*minden, ami geo...*

**Szabó Imre:**

**Hulladékelhelyezés**

*-CD változat-*

[www.geomagazin.hu](http://www.geomagazin.hu)

GEOSZABÓ Mérnöki Iroda Bt. Minden jog fenntartva

## 1. FEJEZET

### A HULLADÉK FOGALMA, OSZTÁLYOZÁSA

A hulladék fogalmának meghatározása látszólagos egyszerűsége ellenére is meglehetősen nehéz. Az emberi tevékenység sokrétűsége, a hulladékok anyagi tulajdonságainak változatossága, a gazdaságilag különbözőképpen fejlett országokban a megítélés eltérő szempontjai, a hazánkban mindmáig nem szabványosított terminológia mind megnehezíti a fogalom minden szempontra kiterjedő korrekt megfogalmazását. A hulladék lényegében nem környezetvédelmi, hanem gazdasági és jogi fogalom, amelynek azonban fontos környezeti vonatkozásai vannak (FEHÉR, 1984.).

Általános értelemben *hulladéknak* tekinthető az a bármely halmazállapotú, önállóan vagy hordozó közeggel megjelenő anyag és energia, ami az ember mindennapi életéből, termelő, szolgáltató vagy fogyasztó tevékenységéből ered, és az adott műszaki, gazdasági, társadalmi feltételek között tulajdonosa sem felhasználni, sem értékesíteni nem tud, illetve nem kíván sem kezelve, sem kezeletlenül, ezért átalakítással vagy anélkül történő, a környezetre ártalmatlan elhelyezéséről átmenetileg vagy véglegesen gondoskodni kell.

Mint a fenti megfogalmazásból látszik, annak a megítélésében, hogy egy anyag, tárgy stb. hulladéknak minősül-e vagy sem az anyagi jellemzőkkel legalább azonos súlyú szerepet játszanak a társadalmi, gazdasági tényezők is. Hogy egy adott anyag, tárgy, maradvány stb. az ember, a társadalom megítélése szempontjából hulladéknak minősül-e vagy sem, függ az emberek anyagi helyzetétől, a társadalmi, a műszaki és a gazdasági fejlettség szintjétől (HORVÁTH, 1990.).

A közös jellemző tulajdonságaik szempontjából *hasonló hulladékfajták együttese a hulladéktípus*. A hulladékfajta azon egyedi hulladékok gyűjtőfogalma, amelyeknek a jellemző anyagi tulajdonsága (pl. fizikai vagy kémiai) együttes kezelésüket lehetővé teszi (pl. háztartási hulladék, szilárd égetési maradékok, tűz- és robbanásveszélyes hulladék, radioaktív hulladék stb.).

A hulladéktípusoknak a hazai szabályozással és gyakorlattal összhangban lévő három főbb csoportját az **1.1. táblázat** tünteti fel (ÁRVAI, 1991.):

**1.1. táblázat**

| <i>A hulladéktípusok csoportosítása (ÁRVAI, 1991.)</i> |                                                                          |                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Hulladéktípus</b>                                   | <b>Eredet</b>                                                            | <b>Jellemző</b>                                                                                                                                                                      |
| Termelési hulladék                                     | Kitermelő, feldolgozó és szolgáltató tevékenység                         | Fizikai és kémiai tulajdonsága igen változó                                                                                                                                          |
| Települési (kommunális) szilárd és folyékony hulladék  | Elosztási, szolgáltató és fogyasztási tevékenység                        | Fizikai és kémiai tulajdonsága változó. Összetétele és mennyisége az életszínvontól és a fogyasztási szokásoktól függ                                                                |
| Különleges kezelést igénylő (veszélyes) hulladék       | Kitermelő, feldolgozó, szolgáltató, elosztási és fogyasztási tevékenység | Mérgező, fertőző, korrozív, radioaktív, tűz-és robbanásve-szélyes. A hulladék vagy bármely bomlásterméke az emberre, az élővilágra és az épített környezetre káros hatást fejthet ki |

a./ **Termelési tevékenységgel kapcsolatos hulladékok:** a kitermelő (bányászat), termelő-feldolgozó (ipar-mezőgazdaság) és szolgáltató (fenntartás, szolgáltatás) tevékenységből származó technológiai és amortizációs hulladékok, amelyeket tovább csoportosíthatunk (BONNYAI, 1990.):

- az általános jelleg, eredet szerint,
- a környezetre gyakorolt hatásuk,
- a kibocsátó technológia és
- a halmazállapotuk alapján.

*Eredet szerint* a termelési hulladékok lehetnek:

- a gyártási tevékenység során az anyagátalakítási műveleteknél természetesen képződő,
- a karbantartás, időszakos üzemleállítás, termékváltás során szükségszerűen képződő,
- a technológiai fegyelmezetlenségből, a berendezések hiányosságai miatt keletkező hulladékok, valamint
- a termelési folyamat kiegészítő létesítményeinek kommunális jellegű hulladékai.

*Környezeti hatás* szerint a termelési hulladékok egyaránt lehetnek:

- nem veszélyes, ill.
- veszélyes, speciális kezelést igénylő hulladékok.

*A kibocsátó technológia alapján:*

- ipari,
  - = gépipari,
  - = vegyipari (szervetlen és szerves vegyipar, gyógyszeripar, stb.),
  - = bányászati,
  - = kohászati,
  - = könnyűipari,
  - = építő- és építőanyagipari,
  - = élelmiszeripari,
- mezőgazdasági,
- közlekedési,
- egyéb termelési hulladékok,

*Halmazállapot* szerint:

- szilárd,
- iszapszerű,
- folyékony,
- gázhalmazállapotú anyagok.

b./ **Települési (kommunális) hulladék:** a lakossági fogyasztási-, elosztási-, kereskedelmi-, intézményi-, vendéglátóipari tevékenységből, valamint a közterületek tisztántartásából származó hulladék. Összetétele és mennyisége erősen függ az életszínvontól, az életmódtól és ezen belül a fogyasztási szokásoktól. A települési hulladék lehet *szilárd, folyékony és iszapszerű* (HORVÁTH, 1990.). A *szilárd* rész többnyire "szemét" (lakóházi, intézményi, közterületi, közforgalmi). Elkülönített kezelést igényelnek a kórházak és egészségügyi intézmények fertőző hulladékai, a kutató-fejlesztő intézmények veszélyesnek minősülő hulladékai, a javító-szolgáltató ipari-kereskedelmi szektor hulladékai.

Sajátos csoportját képezi a települési szilárd hulladékoknak a nagyrészt az építőiparban (magas- és mélyépítés) az építés, szanálás, rekonstrukció során keletkező törmelék, a földmunkák során kiemelt talaj. Ezek nagy tömegű, de viszonylag könnyen kezelhető, környezetükre rendezett lerakással veszélyt nem jelentő hulladékok, jelentős hányaduk hasznosítható területfeltöltésnél, települési hulladékok lefedésénél.

*A települési folyékony és iszapszerű hulladék* keletkezési helye szerint lehet:

- közcsontra nem kötött, emberi tartózkodásra szolgáló épületekből (azok szennyvízgyűjtőjéből) származó folyékony hulladék,
- túlnyomórészt települési (kommunális) eredetű szennyvizet befogadó közüzemi és nem közüzemi árkok és csatornák, csatornarendszerek, szennyvíztelepek fenntartásából, tisztításából származó hulladék.

Nem tartozik ebbe a kategóriába:

- az ipari és mezőgazdasági termelési tevékenységből származó folyékony és iszapszerű hulladék.

Települési hulladék fajták (ÁRVAI, 1991.):

- háztartási-,
- intézményi-,
- kerti-,
- közterületi hulladék,
- víztelenített (kommunális eredetű) szennyvíziszap,
- szennyvíztisztítási nyersiszap,
- kirohasztott szennyvíziszap,
- csatornaiszap,
- rácsszemét,
- homokfogó maradék.

c./ ***A különleges kezelést igénylő (veszélyes) hulladék.*** A hazai gyakorlatban eléggé szerencsétlen módon nem a különleges kezelést vagy különleges figyelmet igénylő hulladék megnevezés honosodott meg, hanem általában *veszélyes- és radioaktív hulladékokról* beszélünk. A veszélyes hulladék megnevezés indokolatlan félelmet kelt a lakosságban s ez számos problémát, sokszor - törvényi szabályozás híján - megoldhatatlan akadályt jelent ezen hulladékok lerakásánál, elhelyezésénél.

*A veszélyes hulladék fogalmát* a 102/1996.(VII.12.) Korm. Rendelet a következőképpen definiálja:

*Veszélyes hulladék:* az a hulladék, amely vagy amelynek bármely összetevője, illetve átalakulásterméke a rendeletben meghatározott veszélyességi jellemzők (lásd. rendelet 1.A. mellékletében) valamelyikével rendelkezik és a veszélyes összetevő olyan koncentrációban van jelen, hogy ezáltal az élővilágra, az emberi életre és egészségre, a környezet bármely elemére veszélyt jelent, illetve nem megfelelő tárolása és kezelése esetében károsító hatást fejt ki.

Nyilvánvalóan, figyelembe véve a fokozott veszélyeztetettséget, önmagában a definíció még nem elegendő az egyértelmű megítéléshez, szükség van a *veszélyes hulladékok jegyzékbe foglalására* is, amely jegyzéknek mindenkor nyitottnak kell lennie, az esetleges kiigazítások számára. A

jegyzékek összeállításának gyakorlata országonként eltérő. Vannak ún. *kizáró jegyzékek*, amelyek a *veszélyesnek nem minősülő hulladékokat* tartalmazzák azzal, hogy minden egyéb hulladék veszélyes. Ezen listák előnye, hogy a veszélyes hulladékok köre nyitott, így abból semmi nem marad ki. Hátránya, hogy sok káros komponenst csak elhanyagolható mennyiségben tartalmazó hulladék szintén a veszélyes kategóriába kerülhet.

Elterjedtebb a *veszélyes hulladékokat felsoroló jegyzékek* alkalmazása. A jegyzék lehet *hulladék-, ill. vegyületcentrikus*. A vegyületjegyzékek kevésbé hasznosak, mivel a veszélyes hulladékok általában anyagkeverékek, amelyek a toxikus vegyületek egész sorát tartalmazhatják. Az anyaglisták használata megkívánja a felsorolás határkoncentrációkkal való kiegészítését és a hulladékok részletes kémiai elemzését is (FEHÉR, 1984.).

Hazánkban első ízben 1981-ben került sor a veszélyes hulladékok jegyzékének összeállítására, amit időközben többször módosítottak. A jelenleg érvényes *veszélyes hulladék* jegyzéket az idézett kormány-rendelet 2.A. melléklete tartalmazza. A veszélyes hulladékok összetevőinek környezeti veszélyessége alapján, eredetüket is figyelembe véve a *veszélyességi jellemzők* (1.A. melléklet), illetve ezekből következően a *környezetvédelmi szempontból biztonságos kezelésükhöz szükséges védelem mértéke alapján*:

- különösen veszélyes (I)
  - fokozottan veszélyes (II)
  - mérsékelt veszélyes (III)
- veszélyességi osztályba sorolja.*

Ugyanakkor a rendelet kimondja (3.§.):

- Az 1. számú mellékletben felsorolt veszélyességi jellemzők bármelyikével rendelkező, de a veszélyeshulladék-jegyzékben nem szereplő ismeretlen összetételű hulladékot veszélytelenségének, illetve veszélyességi osztályának megállapításáig (minősítéséig) I. veszélyességi osztályúnak kell tekinteni és az e besorolásnak megfelelő szabályokat kell alkalmazni.
- A veszélyeshulladék-jegyzékben szereplő, de veszélyességi osztályba nem sorolt hulladékot - minősítéséig - a legnagyobb környezeti veszélyt jelentő összetevőjének megfelelő veszélyességi osztályúnak kell tekinteni és az e besorolásnak megfelelő osztályokat kell alkalmazni.

Mint látható, a *hazai gyakorlat* az előzőekben említett *két módszer kombinációja*.

Az is nyilvánvaló, hogy a hulladékelhelyezés szempontjából helytelen lenne a hulladék veszélyes vagy nem veszélyes voltát pusztán egy lista alapján megítélni. Valójában minden esetben a *környezetre gyakorolt hatást kell mérlegelni, s a szükséges védelmet ennek megfelelően megválasztani.*

A környezetre gyakorolt hatást - hulladékelhelyezés esetében - leginkább a hulladékból kiszűrődő *csurgalékvíz* veszélyeztető potenciálja alapján ítélni meg. Ezért a mai korszerű szemlélet szerint hulladékelhelyezésnél a szükséges védelmi rendszert a csurgalékvíz várható összetétele alapján határozzák meg. Ezen kérdések tárgyalására a szigetelőrendszerek méretezésénél kerül sor.

Amennyiben az említett lista alapján nem egyértelmű a hulladék besorolása (nem bizonyított a veszélytelensége), ill. ismeretlen összetételű vagy hatású hulladékkal van dolgunk, úgy az említett rendelet szellemének megfelelő *minősítő vizsgálatokra* van szükség. A hulladékok minősítését a 102/1996. (VII.12.) Korm. rendelet 3. számú melléklete szabályozza.

A minősítésre – ha a jogszabály másként nem rendelkezik – a tulajdonos kérelme alapján kerül sor. A minősítést a kérelmező által elvégeztetett megalapozó vizsgálatokkal kell alátámasztani. A megalapozó vizsgálatokat és a minősítendő hulladékból történő mintavételt a hulladékok vizsgálatára akkreditált szervezet végezheti.

A vizsgálatoknak az idézett rendelet 3. sz. mellékletének 1. sz. függelékében megadott vizsgálatcsoportokra kell kiterjednie (**1.1. ábra**).

Az ábrán feltüntetett vizsgálatcsoportok közül a *fizikai-kémiai és ökotoxikológiai vizsgálatokat minden esetben el kell végezni*. Ha ezen vizsgálatok alapján a hulladékról megállapítható, hogy I. veszélyességi osztályba tartozik, akkor a többi vizsgálatot nem kötelező elvégezni.

A *mikrobiológiai (fertőzőképességi) vizsgálatokat* csak abban az esetben kell elvégezni, ha a hulladék – keletkezési technológiájából vagy tárolási körülményeiből adódóan – feltételezhetően fertőző betegséget okozó kórokozókat is tartalmaz.

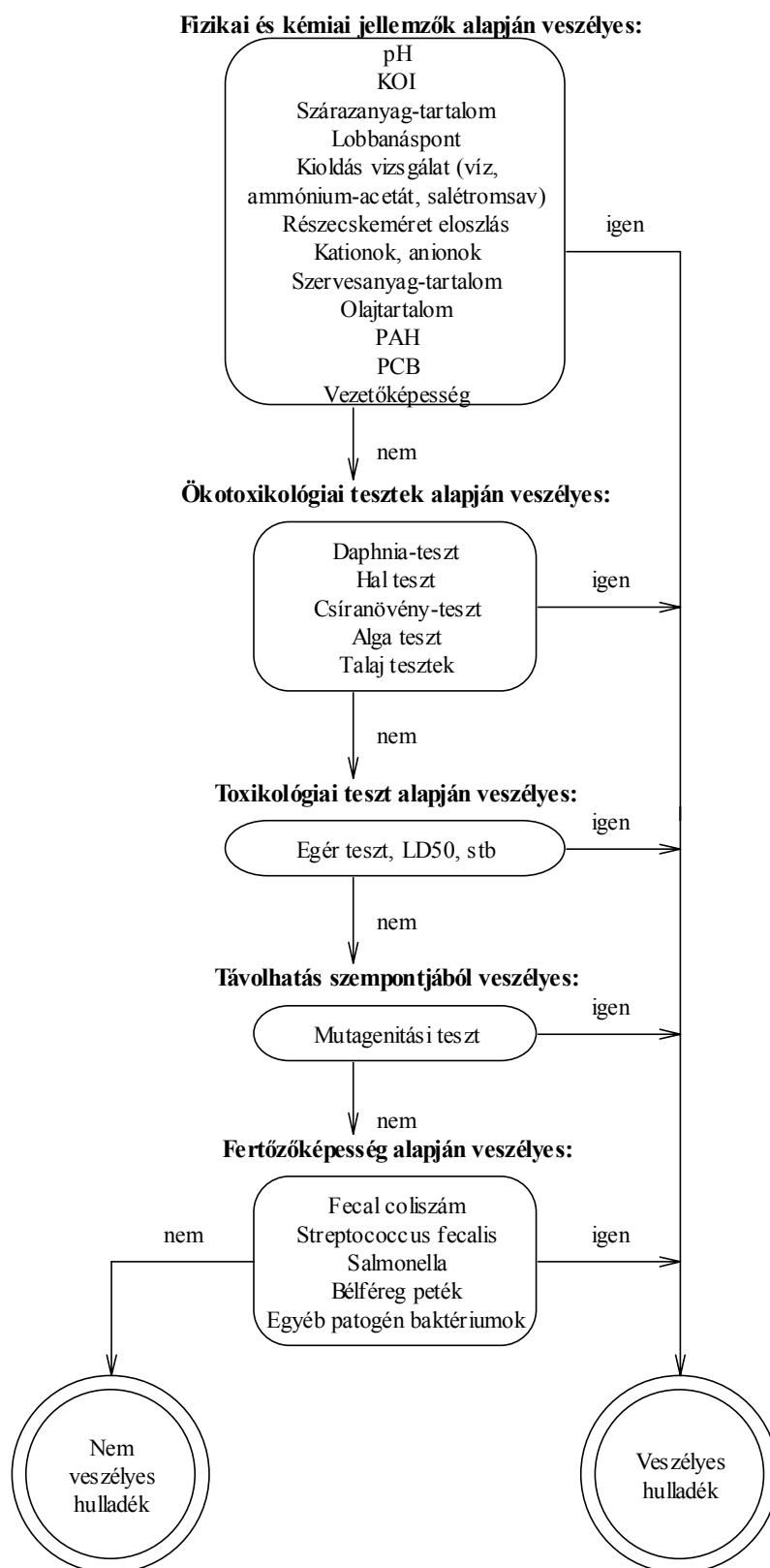
Az 1940-es évek közepétől kezdve kell számolnunk a hulladékok egy új, különleges fajtájával a **radioaktív hulladékokkal**. A radioaktív hulladékot mind a nemzetközi egyezmények, mind a hazai előírások külön tárgyalják.

A fenti időtől kezdve széles körben megvalósult a mesterséges radioaktív izotópok gyártása, felhasználása és a világ energiaellátásában ma egyre nagyobb feladat jut az atomerőműveknek (FEHÉR, 1984.). Ezen folyamat természetes velejárója a radioaktív hulladékok mennyiségének a növekedése. A fogalom hazai meghatározásánál a hulladékban lévő radioaktív izotóp ivóvízre, levegőre vonatkoztatott *maximális megengedhető koncentrációját* (MMK érték) vették figyelembe. Eszerint *szilárd radioaktív hulladéknak* kell tekinteni azt a meghatározott alakú és térfogatú hulladékot, amelyben a radioaktív izotóp koncentrációja - homogén eloszlást feltételezve - meghaladja a kérdéses radioaktív izotóp ivóvízre vonatkozó MMK értékének 1000-szeresét és összaktivitása meghaladja az engedély nélkül felhasználható, szabadszintű radioaktív izotóp mennyiségét.

A *radioaktív szennyvíz, ill. szennyvízkoncentrátum hulladék* esetén a minimális radioaktív koncentráció értéke meghaladja az adott radioaktív izotóp ivóvízre vonatkozó MMK értékének 150-szeresét.

*Biológiai radioaktív hulladék, radioaktív szerves oldószer hulladék* esetén a szennyező radioaktív izotóp koncentrációja meghaladja az ivóvízre vonatkozó MMK érték 10 000-szeresét.

*Légnemű radioaktív hulladékok* esetében a szennyező radioaktív izotóp koncentrációja meghaladja a kérdéses izotóp levegőre vonatkoztatott MMK értékét.



1.1. ábra

A hulladékminősítést megalapozó vizsgálatok a 102/1996. (VII.12.) Korm. rendelet alapján

*A radioaktív hulladékok osztályozása* történhet (FEHÉR, 1984.):

- halmazállapotuk alapján,
- a hulladékkezelési módszerek (pl. éghető, nem éghető, préselhető, nem préselhető...) szerint
- és a felezési idő szerint. A hulladékban lévő szennyező radioaktív izotóp *felezési ideje* szerint Magyarországon megkülönböztetünk *rövid- és hosszú felezési idejű* hulladékokat. Előzőnél a felezési idő rövidebb mint 30 nap és a hulladék a keletkezési helyen tárolható a lebomlásig. A 30 napnál hosszabb felezési idejű radioaktív izotópokat tartalmazó hulladékok központi helyen való elhelyezést igényelnek.
- a szennyező radioaktív izotóp által kibocsátott sugárzás fajtája szerint ( $\alpha$ -,  $\beta$  -,  $\gamma$  sugárzást kibocsátó hulladék),
- a hulladékgöngyöleg felületén mérhető dózisteljesítmény szerint,
- a hulladékban lévő radioaktív izotóp koncentrációja szerint.

Utóbbi alapján általában *kis, közepes* és *nagy* aktivitású hulladékokat különböztetnek meg, országoként azonban az egyes kategóriáknál eltérő koncentrációértékek is előfordulnak. Az egységes értelmezés elősegítésére a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség ajánlást adott a tagországoknak, s az ennek alapján készült  *hazai radioaktív hulladékosztályozást az 1.2.-1.4. táblázatok* tartalmazzák. Az 1.4. táblázatban az 1., 2. osztályba tartozókat *kis aktivitású*-, a 3. osztályba soroltakat *közepes*-, a 4. és 5. osztályba soroltakat *nagy aktivitású hulladékoknak* is nevezik (FEHÉR, 1984.).

**1.2. táblázat**

| <i>Szilárd radioaktív hulladékok osztályozása</i> |                                                                                                   |                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Osztály                                           | Dózisteljesítmény a hulladék felületén<br>(D, mGy <sub>levegő/h</sub> )                           | Általános jellemzők és előírások                                                                                                       |
| 1.                                                | $D \leq 1,74$                                                                                     | $\gamma$ -, $\beta$ -sugárzó izotópokat tartalmaz                                                                                      |
| 2.                                                | $1,74 < D \leq 17,4$                                                                              | Jelentéktelen mennyiségben $\alpha$ -<br>sugárzó izotópokat tartalmazhat                                                               |
| 3.                                                | $17,4 < D$                                                                                        | Kritikus állapot szempontjából nem veszélyes.<br>Jelentéktelen mennyiségben $\gamma$ -, $\beta$ -sugárzó<br>izotópokat is tartalmazhat |
| 4.                                                | $\alpha$ -sugárzó izotópokat tartalmaz.<br>A koncentrációt Bq/cm <sup>3</sup> -ben kell kifejezni |                                                                                                                                        |

**1.3. táblázat**

| <i>A légnemű radioaktív hulladékok osztályozása</i> |                                                                                 |                                                               |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Osztály                                             | A szennyező radioaktív izotóp<br>koncentrációértéke<br>(A, Bq/cm <sup>3</sup> ) | Általános jellemzők és előírások                              |
| 1.                                                  | $A \leq 3,7 \cdot 10^{-6}$                                                      | Kibocsátás előtt rendszerint nem kell kezelni                 |
| 2.                                                  | $3,7 \cdot 10^{-6} < A \leq 3,7 \cdot 10^{-2}$                                  | Kibocsátás előtt szűrni kell                                  |
| 3.                                                  | $3,7 \cdot 10^{-2} < A$                                                         | A szűrésen kívül egyéb tisztítási módszerek is<br>szükségesek |



1.4. táblázat

| <i>Folyékony radioaktív hulladékok osztályozása</i> |                                                                                    |                                         |                                                         |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Osztály</b>                                      | <b>A szennyező radioaktív izotóp koncentrációértéke<br/>(A, Bq/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Általános jellemzők és előírások</b> |                                                         |
| 1.                                                  | $A \leq 3,7 \cdot 10^{-2}$                                                         | Sugárnyékolás nem kell                  | Feldolgozást rendszerint nem igényel                    |
| 2.                                                  | $3,7 \cdot 10^{-2} < A \leq 37$                                                    | Sugárnyékolás általában nem szükséges   | A hulladék feldolgozása az esetek többségében szükséges |
| 3.                                                  | $37 < A \leq 3700$                                                                 | Sugárnyékolás általában szükséges       | Hulladékfeldolgozást igényel                            |
| 4.                                                  | $3700 < A \leq 3,7 \cdot 10^8$                                                     |                                         |                                                         |
| 5.                                                  | $3,7 \cdot 10^8 < A$                                                               |                                         | A hulladék termikus hűtéséről gondoskodni kell          |

**Irodalomjegyzék az 1. fejezethez**

- ÁRVAI J. (szerk.) (1993):*  
Hulladékgazdálkodási kézikönyv  
Műszaki Könyvkiadó, Bp.
- BONNYAI Z. (1990):*  
Termelési hulladékok kezelése  
Környezettechnika kézikönyv, (Szerk. BARÓTI J.), pp. 401-509.  
Környezettechnikai Szolgáltató Kft. Bp.
- BONNYAI Z.-HAJDÚ A.-OLESSÁK D.-RÉPÁSI G. (1990):*  
Hulladékgazdálkodás  
Környezetgazdálkodási Intézet, Bp., jegyzet
- BUNYEVÁ CZ J.-VÁRNAI P.-KABAI J.-KABAI JNÉ (1980):*  
Tervezési útmutató a veszélyes hulladékok lerakással történő elhelyezéséhez  
DÉLTERV, Pécs, Kézirat
- DAVIS, M.L.-CORNWELL, D.A. (1985):*  
Introduction to Environmental Engineering  
McGraw-Hill Inc.
- FEHÉR L. (1984):*  
Veszélyes hulladékok  
Műszaki Könyvkiadó, Bp.
- GYÖRFI E. (1991):*  
A hulladékgazdálkodás ökológiai megközelítése - szilárd települési hulladék  
gyűjtésének nemzetközi tapasztalatai  
Környezetvédelmi füzetek 38. OMIKK Kiadvány
- HORVÁTH L. (1990):*  
Települési szilárd hulladékok gyűjtése, szállítása, ártalmatlanítása, hasznosítása  
Környezettechnikai Kézikönyv (Szerk.: BARÓTFI I.), pp. 305-401.  
Környezettechnikai Szolgáltató Kft. Bp.
- JUHÁSZ J.-SZABÓ I. (1991):*  
Veszélyes hulladéktárolók földtani környezetben való kialakításának szempontjai  
Az iszapszerű és folyékony hulladék környezeti hatásairól  
Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék, kézirat.
- KGI (1993):*  
Települési szilárd hulladék-gazdálkodási keretterv  
PHARE Project 701. tanulmány  
KGI-Környezetgazdálkodási Intézet, Kézirat
- TCHOBANOGLIOUS, G.-THEISEN, H.-VIGIL, S. (1993):*  
Integrated solid waste management  
Mc Graw-Hill Inc., p. 913.
- TILTMAN, K.O. (1993):*  
Handbuch Abfallwirtschaft und Recycling  
Gesetze-Techniken-Verfahren  
Vieweg Verlag GmbH
- VIRÁGH E. (1991):*  
Radioaktív hulladékok fajtái, keletkezése és elhelyezése  
Környezetvédelmi Füzetek, 14. sz.

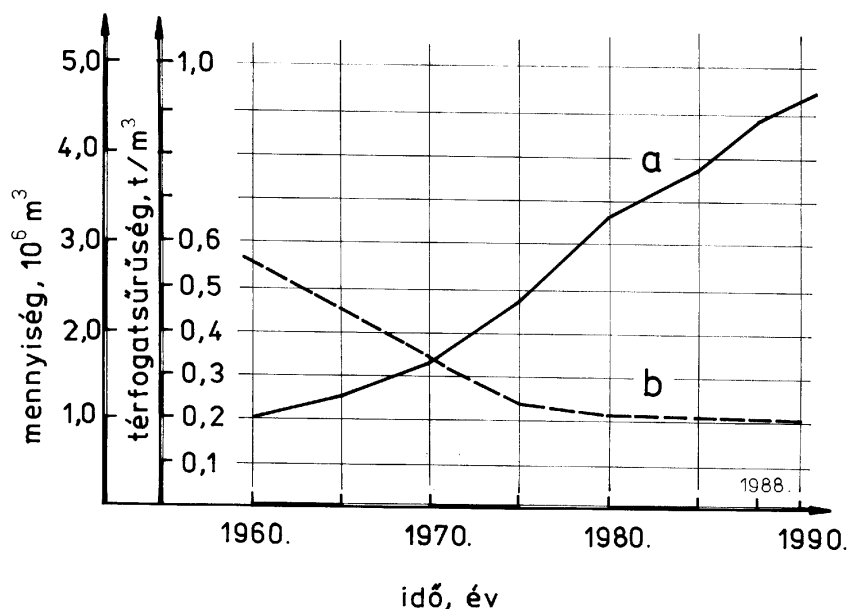


## 2. FEJEZET

### A HULLADÉKOK MENNYISÉGE, MINŐSÉGI JELLEMZŐI

A **települési szilárd hulladékok** mennyisége és összetétele hazánkban is, mint bárhol a világon a gazdasági fejlettség, az életszínvonal és az életmód függvénye. Egy országon belül is azonban további eltérések lehetnek a településszerkezet adottságaitól függően.

Az urbanizációval, a városi életforma elterjedésével fokozatosan nő a települési hulladék mennyisége. Jól szemlélteti ezt a folyamatot a **2.1. ábra**, amelyen a köztisztasági szolgáltatás keretében begyűjtött és elszállított szilárd települési és azzal együtt kezelhető termelési és intézményi hulladék mennyiségének növekedése látható. Jól megfigyelhető ugyanakkor a hulladék térfogatsűrűségének a csökkenése. Az 1988-ban Budapesten, vidéki városokban és egyéb településeken keletkezett és kezelt hulladék mennyiségét a **2.1. táblázat** szemlélteti (OMFB, 1989.). A köztisztasági vállalatok, szervezetek adatai alapján a kilencvenes években az *elszállított hulladék mennyiségében* folyamatosan nőtt a lakossági hányad, míg az üzemektől, intézményektől begyűjtött és elszállított szilárd hulladék mennyisége csökkent (**2.2. táblázat**).



2.1. ábra

A települési szilárd hulladék térfogatsűrűségének csökkenése Budapesten

*a.* a hulladék mennyisége

*b.* a hulladék térfogatsűrűsége

(ÁRVAI, 1991.)

A hazai települési hulladék *térfogatsűrűsége*:

- Budapesten és a vidéki városokban: ..... 150 - 200 kg/m<sup>3</sup>
- egyéb településeken: ..... 200 - 250 kg/m<sup>3</sup>

Az együtt kezelhető termelési és intézményi hulladék *térfogatsűrűsége*:

- Budapesten és a vidéki városokban: ..... 200 kg/m<sup>3</sup>
- egyéb településeken: ..... 413 kg/m<sup>3</sup>.

Ha meggondoljuk, hogy a települési szilárd hulladék mennyisége közel 20 millió m<sup>3</sup> és 2000-re az előrejelzések szerint eléri a 25 millió m<sup>3</sup>-t, akkor csak maga ez a hulladékfajta még tömörítés után is évente legkevesebb 1 km<sup>2</sup>-nyi területet köt le és von ki az egyéb hasznosításból (KGI, 1993.).

2.1. táblázat

| <i>A települési és azzal együtt kezelhető, termelési, intézményi szilárd hulladék mennyisége hazánkban (OMFB, 1989.)</i> |                                          |                         |                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------|-----------------|
| Megjegyzés                                                                                                               | Települési                               | Termelési és intézményi | Összes          |
|                                                                                                                          | hulladék, 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> |                         |                 |
| <i>Kezelt (köztisztasági szervek által begyűjtött és elszállított) hulladék</i>                                          |                                          |                         |                 |
| Városok (Budapest nélkül)                                                                                                | 4 802,4                                  | 4 358,0                 | 9 160,4         |
| Egyéb települések                                                                                                        | 2 012,7                                  | 940,7                   | 2 953,4         |
| Vidék összesen                                                                                                           | 6 815,1                                  | 5 298,7                 | 12 113,8        |
| Budapest                                                                                                                 | 2 717,0                                  | 1 538,0                 | 4 255,0         |
| <b>Összesen</b>                                                                                                          | <b>9 532,1</b>                           | <b>6 836,7</b>          | <b>16 368,8</b> |
| <i>Keletkező hulladék</i>                                                                                                |                                          |                         |                 |
| Városok (Budapest nélkül)                                                                                                | 6 200,0                                  | 5 000,0                 | 11 200,0        |
| Egyéb települések                                                                                                        | 3 800,0                                  | 1 300,0                 | 5 100,0         |
| Vidék összesen                                                                                                           | 10 000,0                                 | 6 300,0                 | 16 300,0        |
| Budapest                                                                                                                 | 2 717,0                                  | 1 538,0                 | 4 255,0         |
| <b>Összesen</b>                                                                                                          | <b>12 717,0</b>                          | <b>7 838,0</b>          | <b>20 555,0</b> |

2.2. táblázat

| <i>A települési és az azzal együtt kezelhető termelési és intézményi hulladék begyűjtésének alakulása az 1990-es évek elején (KSH, 1994.)</i> |        |        |        |        |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|----------|
| Hulladékszállítás és ártalmatlanítás                                                                                                          | 1990   | 1991   | 1992   | 1993   |          |
|                                                                                                                                               |        |        |        | összes | Budapest |
| <b>Az elszállított hulladék</b>                                                                                                               | 16 685 | 16 092 | 16 790 | 16 403 | 4 035    |
| <b>A lakosságtól elszállított hulladék</b>                                                                                                    | 9 874  | 9 542  | 10 225 | 10 419 | 2 474    |
| <b>Az üzemektől, intézményektől elszállított hulladék</b>                                                                                     | 6 811  | 6 550  | 6 566  | 5 985  | 1 561    |
| <b>Az ártalmatlanított hulladék</b>                                                                                                           | 16 372 | 15 890 | 16 780 | 16 394 | 4 035    |

Megjegyzés: Az értékek ezer tonnában értendők

Ugyancsak nő az egy lakosra jutó évi/napi átlagmennyiség, az ún. *lakos egyenérték* is (ÁRVAI, 1981.), ami Budapesten az 1950-es években 0,6 kg/fő/d (220 kg/fő/a), 1980-ban 0,86 kg/fő/d (314 kg/fő/a), 1988-ban 1,1 kg/fő/d (402 kg/fő/a), 1993-ban 1,15 kg/fő/d (420 kg/fő/a) volt. A **2.3. táblázat** áttekintést ad a Föld néhány országában az egy főre jutó települési szilárd hulladék mennyiségéről, 1992-ben.

Természetesen a **2.3. táblázat** adatai csak tájékoztató jellegűek, hiszen egyrészt még nem alakultak ki az egységes vizsgálati módszerek, másrészt az egyes országokban eltérő a hulladékok kategorizálása is.

2.3. táblázat

| <i>A Föld néhány országában az egy főre jutó települési szilárd hulladék mennyisége (1992.)</i> |                  |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|
| Ország                                                                                          | Lakos egyenérték |         |
|                                                                                                 | kg/fő/d          | kg/fő/a |
| USA                                                                                             | 2,37             | 864     |
| Finnország                                                                                      | 1,67             | 608     |
| Dánia                                                                                           | 1,28             | 469     |
| Hollandia                                                                                       | 1,28             | 467     |
| Svájc                                                                                           | 1,17             | 427     |
| Magyarország                                                                                    | 1,15             | ~420    |
| Japán                                                                                           | 1,08             | 394     |
| Nagy Britannia                                                                                  | 0,97             | 353     |
| Németország (régi tartományok)                                                                  | 0,91             | 331     |
| Spanyolország                                                                                   | 0,88             | 322     |
| Svédország                                                                                      | 0,87             | 317     |
| Görögország                                                                                     | 0,86             | 314     |
| Belgium                                                                                         | 0,86             | 313     |
| Franciaország                                                                                   | 0,83             | 304     |
| Olaszország                                                                                     | 0,82             | 301     |
| Portugália                                                                                      | 0,63             | 231     |
| Ausztria                                                                                        | 0,62             | 228     |

A települési szilárd hulladék összetételének időbeni alakulását néhány hazai nagyvárosban a **2.4. táblázat** mutatja be. Meglehetősen nehéz az egyes városok közötti összehasonlítás a felmérés eltérő módszerei és szempontjai miatt. A minőségi jellemzők változásainak tendenciáit a **2.5. táblázatban** találjuk.

2.4. táblázat

| <i>A települési szilárd hulladék összetétele, és változásának tendenciái néhány hazai nagyvárosban</i> |          |      |      |         |           |           |                     |        |          |           |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|------|---------|-----------|-----------|---------------------|--------|----------|-----------|-----------|
| Hulladék összetevők                                                                                    | Budapest |      |      | Miskolc |           |           |                     |        | Debrecen |           |           |
|                                                                                                        | 1980     | 1990 | 1993 | 1981    | 1991      |           |                     | 1991   |          |           |           |
|                                                                                                        | összes   |      |      | összes  | lakótelep | kertváros | falusias külterület | összes | belváros | lakótelep | kertváros |
| <b>Papír</b>                                                                                           | 16,5     | 19,6 | 17,1 | 26,5    | 16,5      | 5,9       | 2,2                 | 11,9   | 18,7     | 19,5      | 10,0      |
| <b>Műanyagok</b>                                                                                       | 4,5      | 4,6  | 5,6  | 8,0     | 10,0      | 6,0       | 3,3                 | 8,1    | 4,7      | 10,0      | 4,3       |
| <b>Textília</b>                                                                                        | 5,5      | 6,8  | 6,6  | 3,8     | 2,5       | 2,3       | 1,2                 | 2,5    | 3,1      | 10,5      | 8,7       |
| <b>Üveg, kerámia</b>                                                                                   | 4,0      | 5,3  | 5,0  | 2,8     | 3,6       | 1,0       | 0,8                 | 2,5    | 17,2     | 8,4       | 7,3       |
| <b>Fém</b>                                                                                             | 4,5      | 6,0  | 4,8  | 3,1     | 2,9       | 1,5       | 0,8                 | 2,2    | 14,0     | 3,1       | 5,8       |
| <b>Bomló szerves</b>                                                                                   | 28,5     | 32,0 | 34,5 | 33,0    | 64,5      | 32,0      | 19,5                | 52,4   | 34,3     | 48,0      | 58,0      |
| <b>Salak, hamu</b>                                                                                     | 25,5     | 25,7 | 26,4 | 15,8    | -         | 54,3      | 72,2                | 20,4   |          |           |           |
| <b>Egyéb</b>                                                                                           | 11,0     |      |      | 7,0     |           |           |                     |        |          |           |           |
| <b>Veszélyes hulladék</b>                                                                              | n.a.     |      |      | n.a.    |           |           |                     |        | 7,8      | -         | 5,8       |

Megjegyzés: 1., n.a.: nincs adat  
2., az adatok tömeg %-ban értendők

2.5. táblázat

| <i>A települési hulladékok változási tendenciáinak hatása annak minőségi jellemzőire</i><br>(BONNYAI, 1990.) |                             |                          |                                  |                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Minőségi jellemző                                                                                            | HATÁS                       |                          |                                  |                   |
|                                                                                                              | hamu, salaktartalom csökken | konyhai hulladék csökken | csomagolási hulladék-tartalom nő | egyéb hulladék nő |
| térfogattömeg                                                                                                | -                           | -                        | -                                | -                 |
| aprózottság                                                                                                  | -                           | -                        | -                                | -                 |
| portartalom                                                                                                  | -                           | -                        | -                                | -                 |
| nedvességtartalom                                                                                            | +                           | -                        | -                                | -                 |
| szervesanyag tartalom                                                                                        | +                           | -                        | +                                | +                 |
| vízfelszívó képesség                                                                                         | -                           | +                        | +                                | +                 |
| fűtőérték                                                                                                    | +                           | +                        | +                                | +                 |
| papírtartalom                                                                                                | +                           | +                        | +                                | +                 |
| műanyagtartalom                                                                                              | +                           | +                        | +                                | ∅                 |
| üvegtartalom                                                                                                 | +                           | +                        | +                                | ∅                 |
| vastartalom                                                                                                  | +                           | +                        | +                                | ∅                 |
| színesfém-tartalom                                                                                           | +                           | +                        | +                                | ∅                 |
| mosószer-, festék-, stb. maradványok mennyisége                                                              | +                           | +                        | +                                | ∅                 |
| hulladékkeletkezés ütemének egyenetlensége                                                                   | +                           | -                        | +                                | +                 |
| hulladék összetételének egyenetlensége az év során                                                           | +                           | -                        | +                                | +                 |

Jelmagyarázat: - csökkenő irányú hatás  
 + növelő irányú hatás  
 ∅ jelentőség nélküli

A települési szilárd hulladékok mennyiségi és minőségi jellemzőit a *várható tendenciák* megállapítása érdekében érdemes összehasonlítani néhány fejlett ország adatával (2.6. táblázat). Itt is igaz az a megállapítás, hogy az összehasonlítás csak tájékozódásra alkalmas, mert az egyes hulladékösszetevők értelmezése nem minden esetben volt azonos, pl. a *Nagy-Britanniában* végzett felmérés figyelmen kívül hagyta a kerti hulladékokat.

A valóságos megoszlások a táblázatban közöltekhez képest is jelentős eltéréseket mutathatnak. Az *USA*-ban a 80-as évek végén végzett felmérésnél például az üveg aránya 2,4-8,8%, míg a papírnál ez az érték 14,9-48,7% közötti volt. Széles sávban szóródott a lakos egyenérték is. 37 városban a 2 kg/fő/d átlag 0,9-4,3 kg/fő/d tartományt takar (GYŐRI, 1991.).

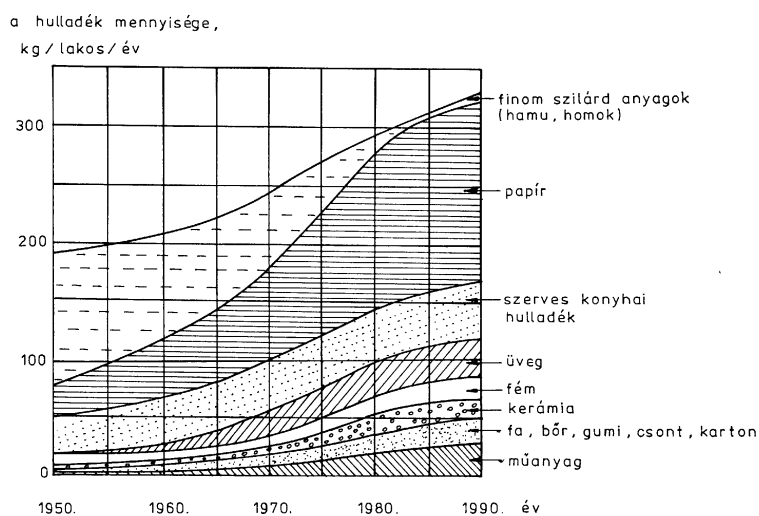
Eltérőek a nézetek a tekintetben, hogy kivethető-e a jövőre az eddigi növekedési ütem. Míg az EPA 10-20%-os háztartási hulladékmennyiség-növekedést jósol, addig más vélemények szerint már egyáltalán nem kell további növekedéssel számolni.

Van olyan vélemény is, amely szerint a következő 10-15 évben - habár jelenleg a szilárd települési hulladék 85%-a anyagát tekintve elvileg újrafeldolgozható lenne - gyakorlatilag legfeljebb 35% hasznosítható ténylegesen. A hulladék mennyisége már alig fog változni, összetételének alakulása viszont csak rendkívül bizonytalanul jelezhető előre. Az újrafeldolgozásra érdemes hulladékok aránya csökkenni fog. A különböző programokban előirányzott és 50%-ot is elérő újrafeldolgozási célok irreálisnak látszanak, a reális cél legfeljebb 25% lehet.

2.6. táblázat

| A fejlett ipari országok és Magyarország települési szilárd hulladéka összetételének összehasonlítása<br>(tömeg % ) (1988-1990) |      |                 |                    |                  |              |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------|--------------------|------------------|--------------|----------|
| A hulladék<br>összetevők                                                                                                        | USA  | Német<br>ország | Nagy-<br>Britannia | Európai<br>átlag | Magyarország |          |
|                                                                                                                                 |      |                 |                    |                  | átlag        | Budapest |
| Papír                                                                                                                           | 40,0 | 46,7            | 33,0               | 24-45            | 9,4          | 19,6     |
| Műanyagok                                                                                                                       | 8,0  | 8,9             | 7,0                | 2,5-5,0          | 3,1          | 4,6      |
| Textília                                                                                                                        |      |                 |                    | 2,0-5,0          | 1,9          | 6,8      |
| Üveg, kerámia                                                                                                                   | 7,0  | 13,6            | 10,0               | 5,0-10,0         | 2,5          | 5,3      |
| Fém                                                                                                                             | 8,5  | 7,1             | 8,0                | 3,0-9,0          | 4,8          | 6,0      |
| Szerves anyagok                                                                                                                 | 24,9 | 15,2            | 20,0               | 15,0-25,0        | 23,7         | 32,0     |
| Szervetlen anyagok                                                                                                              |      | 2,2             | 10,0               | 11,0-28,0        | 45,3         | 25,5     |
| Egyéb                                                                                                                           | 11,6 | 6,3             | 12,0               | 2,0-17,0         | 9,3          | 11,0     |

A volt NSZK-ban 1985-ben végeztek átfogó országos vizsgálatot a háztartási szilárd hulladékról. Az összes évi hulladék akkor mintegy 20 millió tonna volt (325 kg/fő/a), amíg 1950-ben az évi hulladékképződés lakosonként csak 190 kg volt. Rendelkezésre állnak adatok az összetétel változására is 1950-1982 között, illetve az akkoriban 1990-ig tett előrejelzés (2.2. ábra). Az ábrából leolvasható, hogy 1950 óta a helyi széntüzelés megszűntével jelentéktelenné zsugorodott az akkoriban tekintélyes részarányt képező hamu mennyisége. Eléggyé gyors a műanyagok mennyiségének és részarányának növekedése. Összevetve az előrejelzést a tényleges értékekkel, megállapítható, hogy az meglehetősen pontosnak bizonyult.

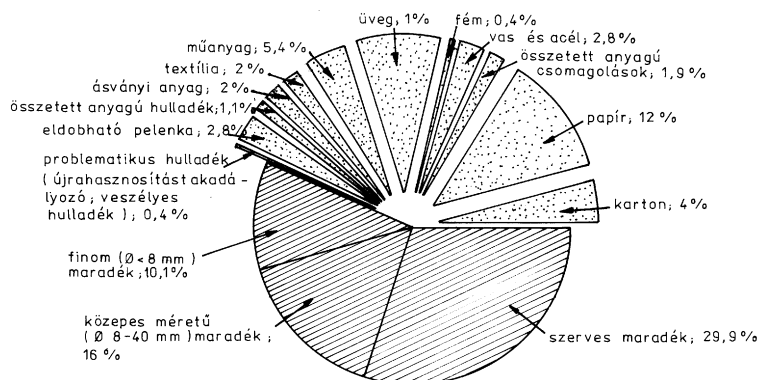


2.2. ábra

A háztartási hulladékok összetételének alakulása a volt NSZK-ban  
(GYÖRFI, 1991.)

A 2.3. ábra az 1985-ben tapasztalt hulladékösszetételt mutatja be. Ez sajnos alig vethető össze a 2.2. ábrával, mert a teljes mennyiség 26,1%-át részleteiben azonosítatlanul tünteti fel, finom, ill. közepes méretű maradékként jelölve azt.



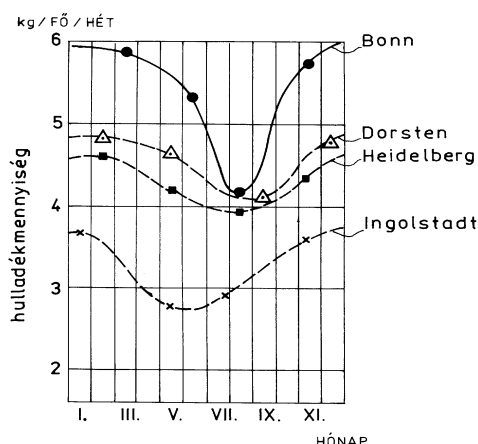


2.3. ábra

A háztartási hulladék összetétele a volt NSZK-ban 1985-ben (GYÖRFI, 1991.)

A németországi részvizsgálatok szerint a szilárd háztartási hulladékban 0,3-0,7% arányban fordultak elő káros anyagok, amelyek részben az újrahasznosítást nehezítik (például a komposztként való értékesítést), részben a lerakásra kerülő hulladékban környezetkárosító veszélyt jelenthetnek. Ilyen anyagok például a növényvédő szerek, festékek, oldószerek, egyéb vegyszerek, lejárt gyógyszerek, kimerült elemek.

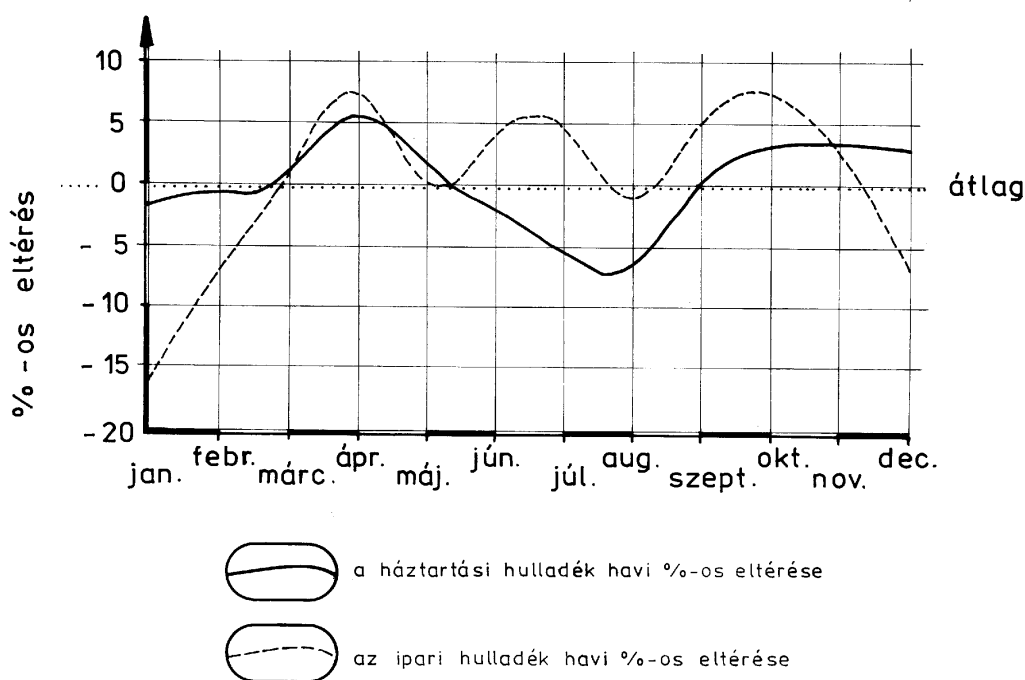
A szervezett hulladékeltávolítás tervszerű fejlesztése (a tároló- és szállítási kapacitás megállapítása, a hulladékkezelési módszerek kiválasztása, lerakóhelyek élettartamának tervezése) megkívánja a hulladék mennyiségére, összetételére és minőségére vonatkozó megbízható mérési adatokat. Az előzőekben közöltek éves összesített adatok voltak, azonban a tervezést megnehezíti, hogy egységes vizsgálati módszerek még nem alakultak ki. Nehezíti a problémát, hogy a települési hulladék mennyisége és összetétele országonként, városenként, évszakonként és a társadalmi-technikai fejlődéssel évenként is jelentősen változhat, ill. változik. A 2.4. ábrán az NSZK-ban 1963-1967 között végzett felmérés eredménye látható. A vizsgált városokban az egy lakosra jutó, kg-ban kifejezett heti kommunális hulladékmennyiség a város nagysága és az évszakok szerint is változott. (DÁVIDNÉ, DELI M., 1989.).



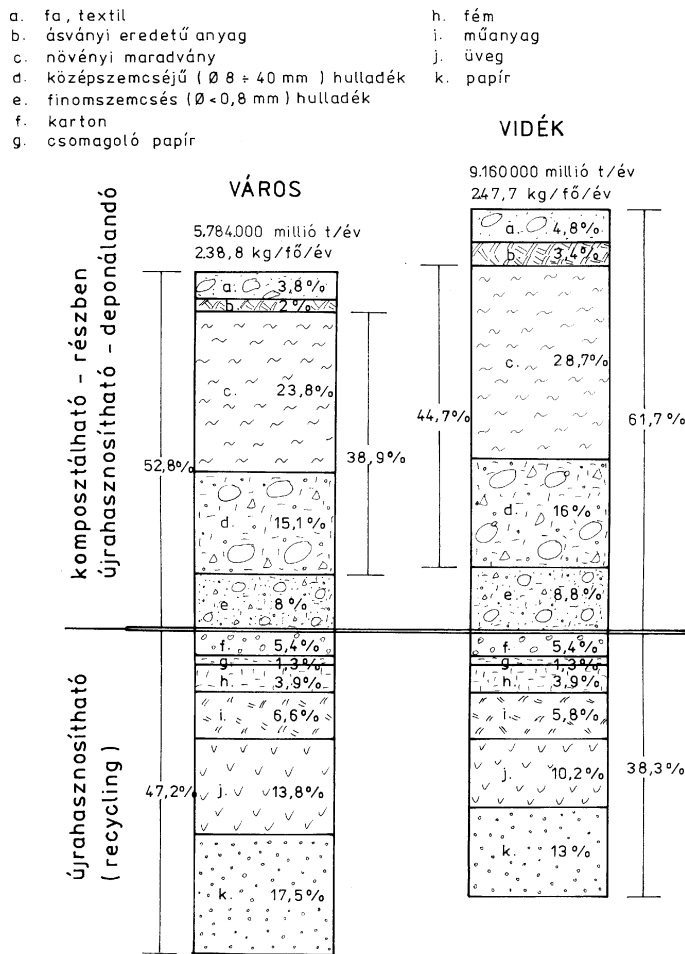
2.4. ábra

Az egy lakosra jutó heti háztartási hulladék mennyiségének éves ingadozása Németország néhány városában (DÁVIDNÉ DELI M., 1989.)

Az 1985-1990 közötti mérések alapján a keletkező hulladékmennyiség éves ingadozását szemlélteti a **2.5. ábra**. A háztartási hulladék legkisebb mennyiségét télen és nyáron mérték, ami a növényi hulladékok és az üdülési idő idényjellegével függ össze. A nagyvárosok és a vidéki települések közötti eltérés nemcsak a hulladék mennyiségében, hanem összetételében is megjelenik, mint azt a **2.6. ábra** szemlélteti az NSZK-ban végzett felmérés alapján 1979-1985 közötti időszakra vonatkoztatva (BILITEWSKI et.al., 1990.). Egy városon belül is, a települési struktúrától függően eltérő a hulladék összetétele. A **2.7. ábra** példaként Bécs két különböző kerületének eltérő hulladékösszetételét mutatja be. Az évszakon belüli mennyiségi változás minőségi különbözőségben is megjelenik (**2.8. ábra**), pl. eltérő víztartalomban, térfogatsűrűségben (BILITEWSKI et.al., 1990.). Érdekes módon a rendelkezésre álló szemétyűjtőtartály-térfogat nemcsak a hulladék mennyiségére, de még az összetételére is hatással van. A **2.9. ábra** a vidéki és városi települések háztartási hulladékának fő alkotóelemeit hasonlítja össze a szemétyűjtőtartály-térfogat függvényében. Jól látható az a szemlélet, hogy ha már egyszer egy adott elszállítási kapacitást valaki már megfizetett, azt ki is kell használni. Ez a vidéki településeknél elsősorban a kerti hulladékok megnövekedett mennyiségében jelentkezett, pl. 70 l/fő fajlagos hulladékgyűjtő térfogatnál a növekedés mintegy 60%, ill. az ilyen típusú hulladék évente 135 kg/fő értékű volt. Több németországi településnél tapasztalt kommunális hulladékmennyiség növekedést szemlélteti a **2.10. ábra** az 1985-87. évi mérések alapján. A nagyobb fajlagos hulladékgyűjtő-térfogat (l/fő) a lakosság számára fajlagosan kisebb költséget jelent, ez azonban a hulladék térfogatsűrűségének a csökkenéséhez vezet, amint azt több szerző vizsgálata alapján a **2.11. ábra** szemlélteti. (BILITEWSKI et. al., 1990.).

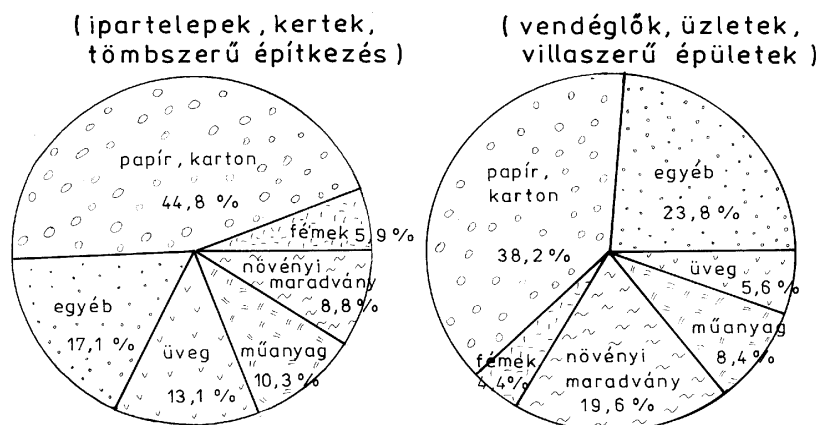


**2.5. ábra**  
A keletkező hulladék mennyiségének éves ingadozása  
berlini mérések alapján (1985-1990.)  
(POHLMANN, 1991.)



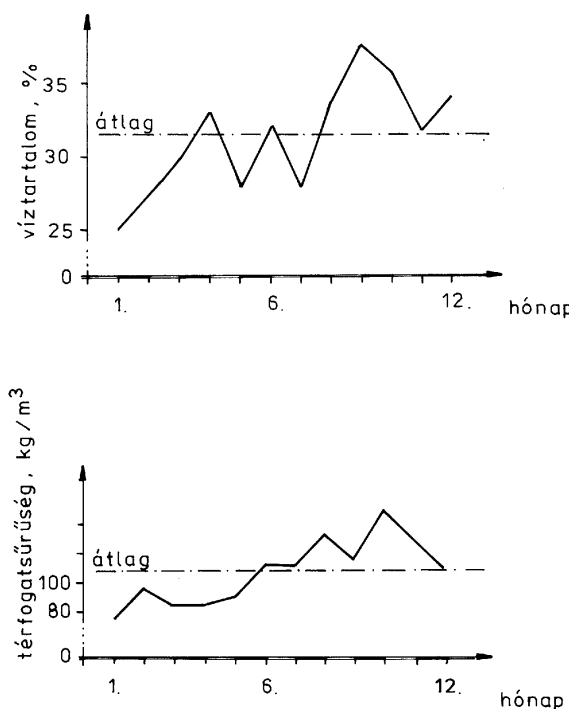
2.6. ábra

A városi és a vidéki (volt NSZK) települések eltérő háztartási hulladékának az összetétele (tömeg%) 1979-1985. közötti mérések alapján (BILITEWSKI et al., 1990.)



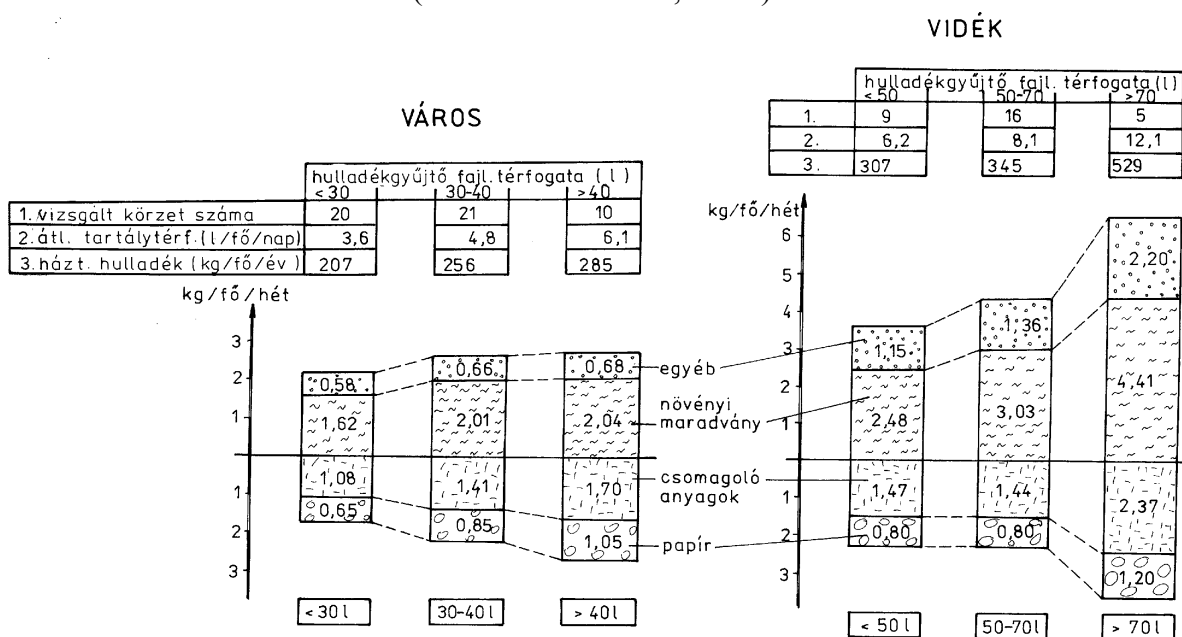
2.7. ábra

Az elszállított háztartási hulladék összetétele Bécs két eltérő települési struktúrájú kerületében (BILITEWSKI et al., 1990.)



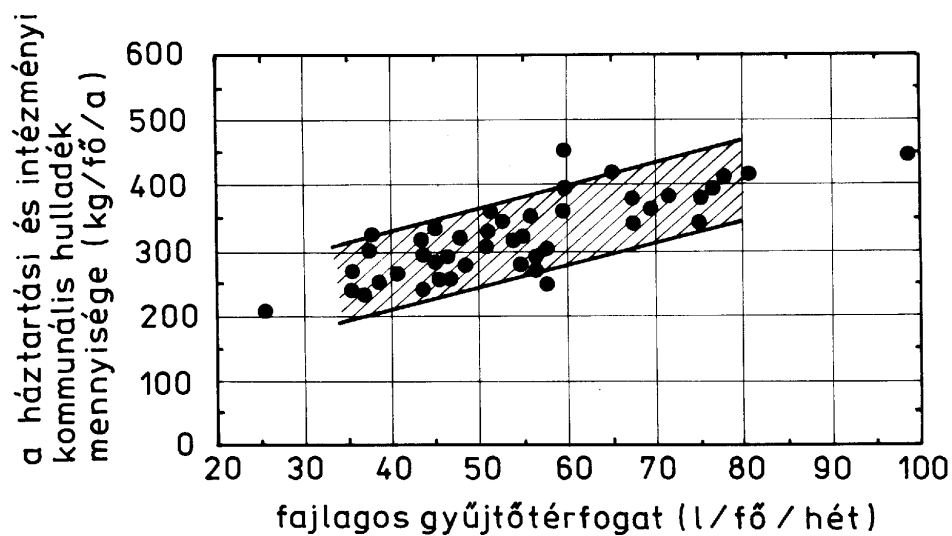
2.8. ábra

A hulladék víztartalmának és térfogsűrűségének éves változása 1982-1983-ban a bécsi hulladékhasznosító-műben (BILITEWSKI et al., 1990.)



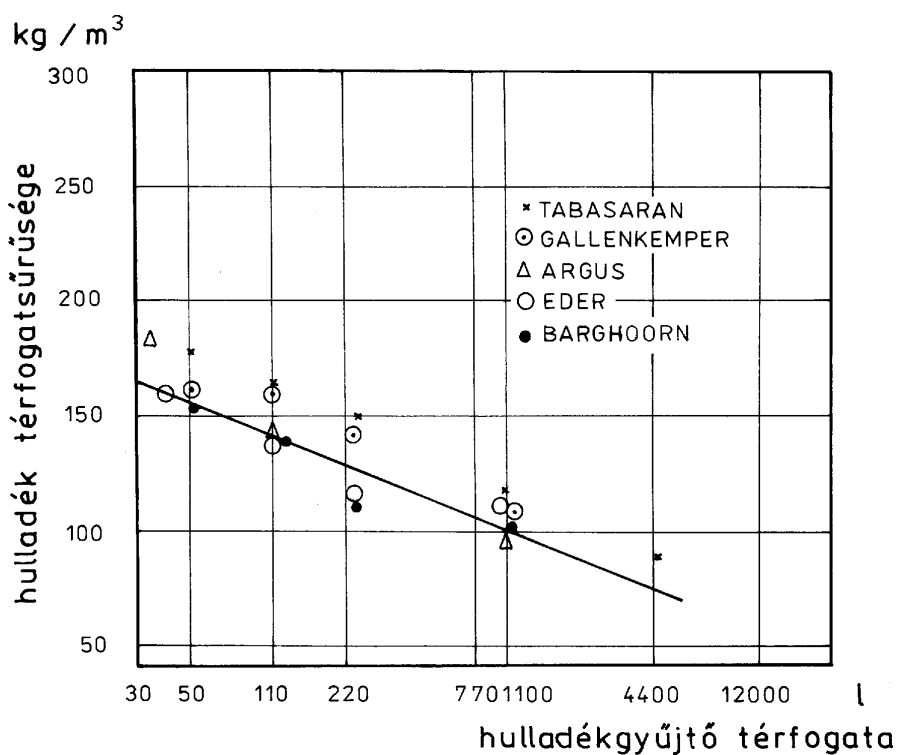
2.9. ábra

Az egy lakosra jutó heti háztartási hulladék mennyiség fő komponenseinek alakulása a hulladékgyűjtő térfogatának és a település jellegének függvényében



2.10. ábra

A háztartási és intézményi kommunális hulladék mennyiségének alakulása a fajlagos gyűjtőtérfogat függvényében Németországban (DOEDENS et al., 1992.)



2.11. ábra

A háztartási hulladék térfogsűrűségének csökkenése a hulladékgyűjtő térfogatának a növekedésével (BILITEWSKI et al., 1990.)

Néhány nyugat európai országban a keletkező települési szilárd hulladék főbb *ártalmatlanítási módjainak részarányát* a **2.7. táblázat** tünteti fel.

**2.7. táblázat**

| <i>Néhány nyugat-európai államban keletkező települési szilárd hulladék mennyisége és a főbb ártalmatlanítási módok részaránya (MIDRÁK, 1992.)</i> |                                                    |                                      |               |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------|---------------------|
| <b>Ország</b>                                                                                                                                      | <b>A hulladék mennyisége (10<sup>6</sup> t/év)</b> | <b>Az ártalmatlanítás részaránya</b> |               |                     |
|                                                                                                                                                    |                                                    | <b>lerakás</b>                       | <b>égetés</b> | <b>komposztálás</b> |
|                                                                                                                                                    |                                                    | <b>(tömeg %)</b>                     |               |                     |
| Ausztria                                                                                                                                           | 2,6                                                | 51,0                                 | 12,0          | 37,0                |
| Dánia                                                                                                                                              | 3,4                                                | 22,0                                 | 70,0          | 8,0                 |
| Franciaország                                                                                                                                      | 17,8                                               | 54,0                                 | 37,0          | 9,0                 |
| Hollandia                                                                                                                                          | 7,3                                                | 30,0                                 | 69,0          | 2,0                 |
| Nagy-Britannia                                                                                                                                     | 32,3                                               | 90,0                                 | 9,0           | 1,0                 |
| Németország*                                                                                                                                       | 23,1                                               | 70,0                                 | 27,0          | 3,0                 |
| Norvégia                                                                                                                                           | 2,0                                                | 69,0                                 | 27,0          | 4,0                 |
| Olaszország                                                                                                                                        | 14,0                                               | 85,0                                 | 11,0          | 3,0                 |
| Spanyolország                                                                                                                                      | 10,6                                               | 81,0                                 | 14,0          | 5,0                 |
| Svédország                                                                                                                                         | 2,5                                                | 40,0                                 | 55,0          | 5,0                 |
| Svájc                                                                                                                                              | 2,5                                                | 20,0                                 | 80,0          | -                   |

\* A volt NSZK

A **folyékony települési hulladék** gondja a vízellátás és a csatornázás közötti különbségek következtében szinte minden településen jelentkezik. A közcsatorna hálózat hiányában az elhasznált, szennyezett víz elhelyezése a talajban való elsikkasztás, szikkasztók, tárolók, emésztőgödörök segítségével történik. Az összegyűlt hulladékot ez utóbbi tárolókból szippantással termelik ki és ártalmatlanítják. A keletkező hulladék éves mennyisége több tíz millió m<sup>3</sup>, amiből szervezetten csak egy csekély hányad, kb. 7,5-8,0 millió m<sup>3</sup> kerül gyűjtésre.

A **szennyvíziszapok** a települések szennyvíztelepeinek üzemeltetési hulladékai, amelyeknek a mennyisége és minősége az adott telepen alkalmazott tisztítási technológia függvénye. Ez utóbbi lényege, hogy fizikai, kémiai-biológiai kezelés (üleptetés, kicsapás stb.) hatására eltávolítják a szennyvizetből a szennyezést okozó lebegő anyagokat. Ennek megfelelően beszélhetünk az előüleptetés során kapott előüleptési (nyers) iszapról, a biológiai tisztítás során keletkező, a tisztítást végző mikrobák tömegét tartalmazó ún. eleveniszapról, az utóüleptetőben kivált iszapról stb. Eltérő jellegük és összetételük ellenére *gyűjtőnéven szennyvíziszapoknak* nevezzük őket. Az évente keletkező szennyvíziszap szárazanyag tartalma 100-120 ezer t/év.

A **termelési hulladék** kibocsátásának megítéléséhez napjainkban csak a kérdőíves felmérésen alapuló adatbevallásból lehet kiindulni, ami számos bizonytalanságot tartalmaz. A környezetvédelmi és gazdasági tervezéshez szükséges adatok kellő pontossággal elsősorban a technológiák anyagmérlegéből számítva adhatók meg.

Közelítő számítások alapján a 80-as évek második felében mintegy 240 millió tonna anyagot használtak fel a termelés és fogyasztás során. A termelő és szolgáltató ágazatokban közel 100 millió tonna termelési hulladék és melléktermék keletkezik.

1986-ban végzett országos felmérés adatai alapján megállapítható, hogy a hazánkban keletkező termelési hulladékok mennyisége kb. 100 millió tonna. A keletkező hulladékok kb. 5%-a veszélyes, 95%-a nem veszélyes kategóriába sorolható (BONNYAI et al., 1990.). A termelési hulladékok nagy része a bánya- és energia-, az építő- és építőanyagiparban valamint az élelmiszeriparban keletkezik.

A nem veszélyes termelési hulladék kategóriában legnagyobb kibocsátó a szénbányászat volt, amelynek a hulladéka többségében szilárd halmazállapotú bányameddő (kb. 5,5 millió m<sup>3</sup> évente). Bár a meddő a nem veszélyes hulladék kategóriába tartozik, egyrészt területet foglal el, másrészt a tájképet rontja és egyben diffúz levegőszennyező forrás is. Napjainkban a szénbányászat termelésének a visszaesésével a meddő mennyisége is jelentősen csökkent.

Nagy mennyiségű termelési hulladék keletkezik a villamosenergia iparban, az erőművek környékén. Ezek képezik az összhulladék kb. 20%-át (salak, mészsizap, pernye).

Az építő- és az építőanyagipar közel a negyedrészt adja a nem veszélyes hulladékoknak. A mész- és cementgyártás, téglá-, cserép-, üvegipar, kőbányászat, a betonelemgyártó technológiák többségében szervesetlen hulladékot (tégla, betontörmelék, meddő stb.) bocsátanak ki.

Az élelmiszeriparban keletkező hulladékoknak kb. fele (53,3%-a) nem veszélyes vagy nagy szervesanyag-tartalmú, növényi és állati eredetű anyag.

A különleges kezelést igénylő **veszélyes hulladékok** mennyisége a 80-as években az évi 3 millió tonnáról az évtized végére megközelítette az 5 millió tonnát, majd a 90-es évek elejétől folyamatosan csökkent (KTM, 1994., BESE, 1994.). Ezen mennyiségnek jelentős részét a timföldgyártásnál keletkezett vörösiszap tette ki, amit a nemzetközi gyakorlatban is hiányzó ártalmatlanítási technológia miatt depóniákban tárolnak. A keletkező veszélyes hulladék mennyiségét a **2.8. táblázat** tünteti fel.

**2.8. táblázat**

| <i>A Magyarországon keletkező veszélyes hulladékok mennyiségének a megoszlása</i> |         |         |         |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| <i>(KTM, 1994.)</i>                                                               |         |         |         |         |
| Veszélyességi osztály                                                             | 1989    | 1990    | 1991    | 1992    |
| I.                                                                                | 1 440,7 | 1 259,8 | 1 092,8 | 1 035,1 |
| II.                                                                               | 1 232,8 | 1 281,1 | 1 279,5 | 1 515,7 |
| III.                                                                              | 189,2   | 160,1   | 143,6   | 115,0   |
| Vörösiszap (II. v. o.)                                                            | 792,0   | 1 990,4 | 1 909,8 | 1 523,1 |
| Összesen                                                                          | 3 654,7 | 4 691,4 | 4 425,7 | 4 189,9 |

Megjegyzés: Az értékek ezer tonnában értendők

A Magyarországon keletkező veszélyes hulladékok eredetük szerint öt főcsoportba sorolhatók (BESE, 1994.): növényi és állati eredetű, illetve ásványi eredetű hulladékok, fémhulladékok, kémiai átalakítás hulladékai, valamint egyéb hulladékok. Ezek közül két csoport - kémiai átalakítás hulladéka, növényi és állati eredetű hulladék - tartalmazza a keletkező veszélyes hulladék 80%-át (**2.9. táblázat**).

2.9. táblázat

| <i>Eredetük szerint a képződő veszélyes hulladékok mennyisége Magyarországon (KTM, 1994.)</i> |                |               |                |               |                |               |                |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| Eredet                                                                                        | 1989           |               | 1990           |               | 1991           |               | 1992           |               |
|                                                                                               | Menny.         | %             | Menny.         | %             | Menny.         | %             | Menny.         | %             |
| Növényi és állati eredetű hulladékok                                                          | 616,5          | 21,54         | 669,0          | 24,77         | 697,9          | 27,74         | 730,7          | 27,41         |
| Ásványi eredet hulladékok, fémhulladék nélkül                                                 | 149,5          | 5,22          | 129,4          | 4,79          | 121,7          | 4,84          | 167,8          | 6,29          |
| Fémhulladékok                                                                                 | 3,7            | 0,13          | 3,5            | 0,13          | 3,3            | 0,13          | 1,9            | 0,07          |
| Kémiai átalakítás hulladékai                                                                  | 2 087,6        | 72,92         | 1 885,6        | 69,81         | 1 687,2        | 67,06         | 1 746,0        | 65,49         |
| Egyéb különleges hulladékok (kórházi hulladékok)                                              | 5,5            | 0,19          | 13,5           | 0,50          | 5,9            | 0,23          | 19,5           | 0,73          |
| <b>Összesen</b>                                                                               | <b>2 862,8</b> | <b>100,00</b> | <b>2 701,0</b> | <b>100,00</b> | <b>2 516,0</b> | <b>100,00</b> | <b>2 665,9</b> | <b>100,00</b> |

Megjegyzés: A mennyiség ezer tonnában értendő

A kémiai átalakítás veszélyes hulladékainak legnagyobb részét a savak, lúgok, koncentrátumok gyártásából, felhasználásából keletkező hulladékok; közel egynegyedét a kőolajiparból és a kőolajtermékek felhasználásából származó hulladékok teszik ki. A növényi és állati eredetű veszélyes hulladék főcsoporton belül az állattartási és vágóhídi hulladékok aránya a legnagyobb, ezt követik a növényi és állati eredetű zsírkészítmények, valamint a bőrkikészítés hulladékai.

Az 1989-1992. évi időszakra vonatkozó adatszolgáltatási lapok kiértékelése alapján a *veszélyes hulladékok kezelésére* vonatkozó adatokat a **2.10. táblázat** tartalmazza (KTM, 1994.).

Az adatok alapján a termelők telephelyen belül kezelték, ártalmatlanították, hasznosították a veszélyes hulladékok 42-46%-át, a többit kiszállították a telephelyről. Az átmeneti tárolóba kerülő hulladékok mennyisége 1989-től 1991-ig fokozatosan nőtt, 3,7%-ról 9,5%-ra, 1992-ben azonban már visszaesés mutatkozott (6,1%). A telephelyen belül felhalmozott hulladékok tömege 20%-ról 50%-ra nőtt. Az adatokban még nem érződik a 27/1992. (I.30.) Korm. rendelet (jelenleg helyette a 102/1996. (VII.12.) Korm. rendelet) hatása, amely szerint "az üzemi gyűjtőhelyen az egy év alatt keletkező veszélyes hulladék mennyiségénél több nem tárolható".

A telephelyen belül ártalmatlanított hulladéktömeg 1989-től fokozatosan csökkent (47%-36%) míg 1992-ben kis mértékű (5%-os) emelkedés következett be.

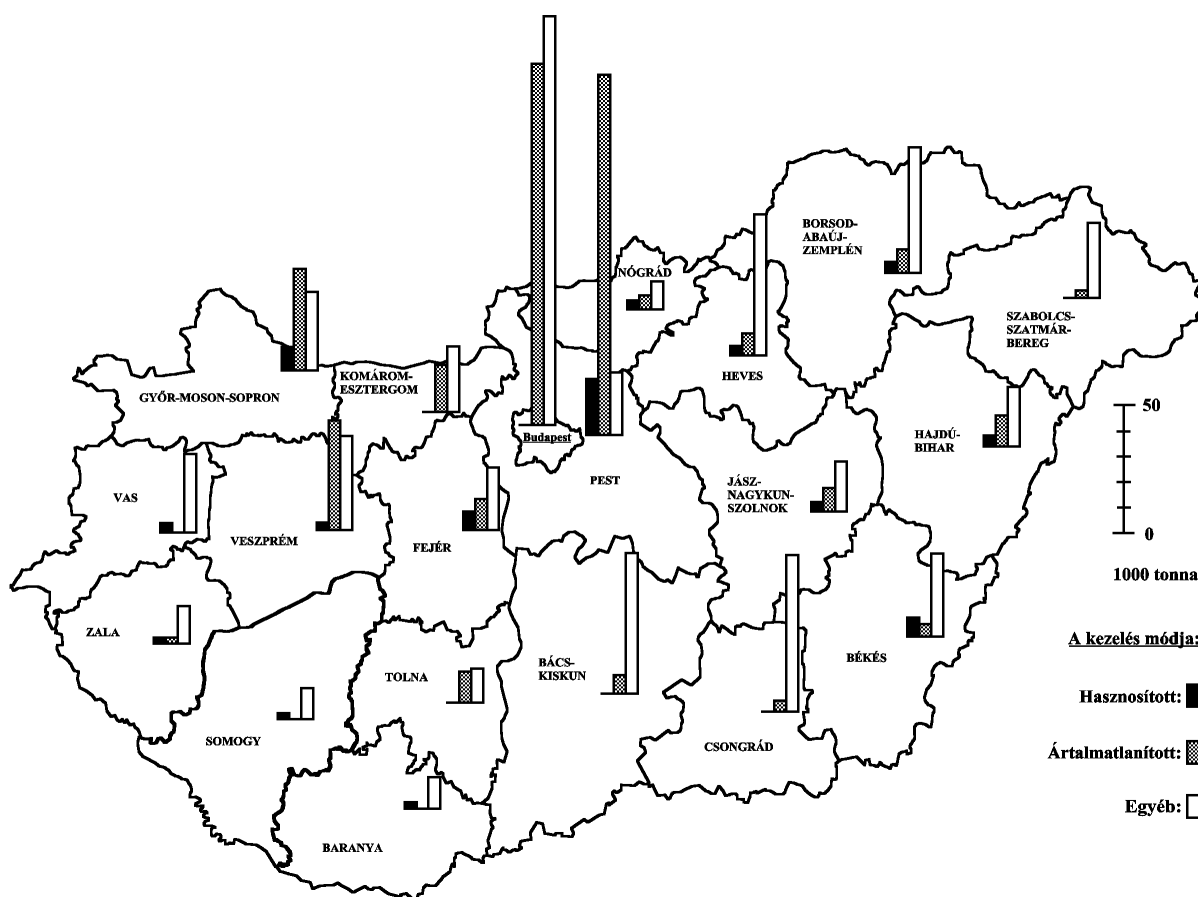
Megyéenként szemlélteti a veszélyes hulladékok kezelését a **2.12. ábra**. Jól látható, hogy az ország jelentős részén a hasznosított és az ártalmatlanított veszélyes hulladék mennyisége lényegesen kevesebb, mint az „egyéb” kategóriába sorolható. Ezen utóbbi többire az üzemi gyűjtőhelyen, átmeneti tárolóban elhelyezett, esetleg az illegális lerakóba került hulladékokat jelenti, és eléggé kedvezőtlen képet mutat.



2.10. táblázat

| A veszélyes hulladékok kezelése az 1989-1992. közötti időszakban (KTM, 1994.) |                  |         |         |         |         |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|
| A kezelés helye                                                               | A kezelés módja  | 1989    | 1990    | 1991    | 1992    |
| Telephelyen kívül                                                             | Átmeneti tárolás | 300,8   | 197,9   | 138,1   | 159,6   |
|                                                                               | Ártalmatlanítás  | 183,8   | 147,8   | 109,5   | 124,5   |
|                                                                               | Hasznosítás      | 64,1    | 57,1    | 18,9    | 13,2    |
| Telephelyen                                                                   | Átmeneti tárolás | 94,6    | 235,9   | 247,5   | 169,1   |
|                                                                               | Ártalmatlanítás  | 1 334,6 | 1 131,4 | 919,6   | 1 101,0 |
|                                                                               | Hasznosítás      | 54,0    | 45,9    | 60,8    | 95,1    |
| Összesen                                                                      | Átmeneti tárolás | 395,4   | 433,8   | 385,6   | 328,7   |
|                                                                               | Ártalmatlanítás  | 1 568,4 | 1 279,2 | 1 029,1 | 1 225,5 |
|                                                                               | Hasznosítás      | 118,1   | 103,0   | 79,7    | 108,3   |
| A termelő által kezelt hulladék                                               |                  | 2 081,9 | 1 816,0 | 1 494,4 | 1 662,5 |
| A keletkezett hulladék                                                        |                  | 2 862,8 | 2 701,0 | 2 515,9 | 2 665,8 |

1. Az adatok a vörösiszap nélkül értendők
2. A mennyiség ezer tonnában értendő



2.12. ábra  
A veszélyes hulladékok kezelése megyénként  
(KTM, 1993.)

Igen szemléletes a **2.11. táblázat** szerinti összehasonlítás, ami az egy lakosra és az egységnyi GDP-re jutó veszélyes hulladék mennyiségét szemlélteti, jól mutatva az ipari termelés korszerűtlenségét, elavult technológiáját (ÁRVAI, 1991.). Sajnos az elmúlt egy évtized alatt a helyzet hazánkat illetően alig változott, mert sem a GDP értéke nem nőtt jelentős mértékben (kb. 3900 USD/fő), sem a keletkező veszélyes hulladékok mennyisége nem csökkent számottevően.

**2.11. táblázat**

| <i>Európa néhány országában keletkezett, egy lakosra és az egységnyi GDP-re jutó veszélyeshulladék-mennyisége (1988. évi adatok)</i> |                |                       |                              |                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Ország                                                                                                                               | GDP,<br>USD/fő | Veszélyes hulladék    |                              | Veszélyes<br>hulladék/GDP,<br>USD |
|                                                                                                                                      |                | termelés,<br>1000 t/a | termelési tényező<br>kg/fő/a |                                   |
| Ausztria                                                                                                                             | 15 569         | 200                   | 26                           | 1,6                               |
| Dánia                                                                                                                                | 21 237         | 150                   | 25                           | 1,1                               |
| Franciaország                                                                                                                        | 15 626         | 3 118                 | 63                           | 4,0                               |
| Írország                                                                                                                             | 6 200          | 127                   | 36                           | 6,0                               |
| Luxemburg                                                                                                                            | 18 250         | 6                     | 10                           | >1,0                              |
| Magyarország                                                                                                                         | 2 729          | 2 316                 | 220                          | 80,0                              |
| NSZK                                                                                                                                 | 18 278         | 2 794                 | 45                           | 2,5                               |
| Portugália                                                                                                                           | 3 329          | 1 049                 | 100                          | 30,0                              |
| Svájc                                                                                                                                | 26 161         | 100                   | 15                           | >1,0                              |
| Svédország                                                                                                                           | 18 434         | 497                   | 59                           | 3,2                               |

Forrás: Baló Gy.-Lipovecz I.: Tények könyve. Budapest, Computer World Informatika Kft., 1989.

**Irodalomjegyzék a 2. fejezethez**

*AKSD (1992):*

A debreceni hulladéklerakó létesítmény  
(Kézirat)

*ÁRVAI J. (szerk.) (1993):*

Hulladékgazdálkodási kézikönyv  
Műszaki Könyvkiadó, Bp.

*BARÓTFI I. (szerk.) (1991):*

Környezettechnika kézikönyv  
Környezettechnikai Szolgáltató Kft., Bp.

*BESE E. (1994):*

Magyarország veszélyes hulladékainak helyzete  
Környezet és Fejlődés, V/8., pp. 46-51.

*BILITEWSKI, B.-HÄDTLE, G.-MAREK, K. (1990):*

Abfallwirtschaft  
Springer Verlag

*BONNYAI Z. (1990):*

Termelési hulladékok kezelése  
Környezettechnika kézikönyv, (Szerk. *BARÓTI J.*), pp. 401-509. Környezettechnikai  
Szolgáltató Kft. Bp.

*BONNYAI Z.-HAJDÚ A.-OLESSÁK D.-RÉPÁSI G. (1990):*

Hulladékgazdálkodás  
Környezetgazdálkodási Intézet, Bp., jegyzet

*DÁVIDNÉ, DELI M. (1989):*

Környezetvédelem  
Tankönyvkiadó, Bp. Egyetemi jegyzet

*DAVIS, M.L.-CORNWELL, D.A. (1985):*

Introduction to Environmental Engineering  
McGraw-Hill Inc.

*DOEDENS, H.-KETELSEN, K.-MEHRING, K. (1992):*

Einflußfaktoren auf Menge und Zusammensetzung von Siedlungsabfällen  
Korrespondenz Abwasser, Vol. 39. H.2. pp. 152-161.

*EDER, G.-BARGHORN, M.-BREY, E. (1983):*

Einflußrößen bei hässlichen Abfällen  
UBA-Berichte 8

*EMLA Alapítvány (1995):*

A magyarországi hulladékgazdálkodás  
(Kézirat, az 1994-95 ösztöndíjas program hallgatóinak összefoglaló tanulmánya)

*FEHÉR L. (1984):*

Veszélyes hulladékok  
Műszaki Könyvkiadó, Bp.

*GYÓRFI E. (1991):*

A hulladékgazdálkodás ökológiai megközelítése - szilárd települési hulladék  
gyűjtésének nemzetközi tapasztalatai  
Környezetvédelmi füzetek 38. OMIKK Kiadvány

*HORVÁTH L. (1990):*

Települési szilárd hulladékok gyűjtése, szállítása, ártalmatlanítása, hasznosítása  
Környezettechnikai Kézikönyv (Szerk.: *BARÓTFI I.*), pp. 305-401. Környezettechnikai  
Szolgáltató Kft. Bp.

*KGI (1993):*

Települési szilárdhulladék-gazdálkodási keretterv  
PHARE Project 701. tanulmány  
KGI-Környezetgazdálkodási Intézet, Kézirat

*KÖZPONTI STATISZTIKAI HIVATAL (1986):*

A környezet állapota és védelme, KSH, 1986. p. 330.

*KÖZPONTI STATISZTIKAI HIVATAL (1994):*

Magyarország Statisztikai Évkönyve 1993

*KTM (1994):*

Magyarország veszélyes hulladékainak helyzete  
Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium kiadványa

*MIDRÁK GY. (1992):*

A települési szilárd hulladékok szelektív gyűjtésének német tapasztalatai és a  
tapasztalatok hasznosítása Nyugat-Európában  
Műszaki Gazdasági Magazin, 4. évf. pp. 639-670.

*OLESSÁK D. (1990):*

Hulladékgazdálkodás  
Környezetgazdálkodási Intézet, Jegyzet, Bp.

*OLESSÁK D. (1993):*

Hulladékkezelési eljárások  
Hulladékgazdálkodási kézikönyv (szerk.: *ÁRVAI J.*), 8. fejezet  
Műszaki Könyvkiadó Bp.

*OMFB (1989):*

A kommunális (szilárd) hulladékok gyűjtése, ártalmatlanítása, hasznosítása  
9-8901/10 Tsz. OMFB tanulmány p. 58.

*PAUKA I. (1991):*

Hulladékcsökkentő technológiák  
Műszaki Gazdasági Magazin, 3. évf. pp. 1019-1040.

*POHLMANN, M. (1991):*

Bestimmung von Menge und Zusammensetzung häuslicher und gewerblicher Abfälle als  
Voraussetzung abfallwirtschaftlicher Planung  
Müll und Abfall, Vol. 23. H.12. pp. 796-808.

*TCHOBANOGLOUS, G.-THEISEN, H.-VIGIL, S. (1993):*

Integrated solid waste management  
Mc Graw-Hill Inc., p. 913.

*TILTMAN, K.O. (1993):*

Handbuch Abfallwirtschaft und Recycling  
Gesetze-Techniken-Verfahren  
Vieweg Verlag GmbH

*ZÖLD AKCIÓ EGYESÜLET (1991):*

Miskolc város szilárd kommunális hulladékának vizsgálata  
(Kézirat)



### 3. FEJEZET

#### A HULLADÉKELHELYEZÉS ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

Mint az előző fejezetben is láttuk, a lakosság életmódjának változása, az életszínvonal emelkedése, a gazdasági termelés növekedése, az anyagfelhasználás szerkezeti változása egyre nagyobb mennyiségű hulladék keletkezését eredményezi, ami egyre nagyobb, s összetettebb környezetvédelmi problémát jelent. A hulladékok hasznosítása, ill. környezetvédelmi szempontból megfelelő módon történő ártalmatlanítása mind költségesebb feladat. A fel nem dolgozott hulladék elhelyezése jelentős földterületet köt le, s potenciális veszélyt jelent környezetére. A nem megfelelően kezelt hulladék környezetkárosító hatásai ugyanis igen jelentősek lehetnek, közvetlenül szennyezhetik a talajt, a felszíni és felszín alatti vizeket, a levegőt, s tájromboló hatásuk is van. A környezetre veszélyes, mérgező hatású komponensek ugyanakkor a bioakumuláció és a toxicitás következtében károsítják a növényi és állati szervezeteket, ill. a táplálékláncon keresztül végső soron az embert is.

A fentiek egyértelműen bizonyítják, hogy a fejlődés iránya a *hulladékszegény technológiák kifejlesztése és alkalmazása*, valamint a hulladékban rejlő másodlagos anyag és energiakészletek minél nagyobb arányú *hasznosítása* kell hogy legyen.

A *hulladékgazdálkodás* a hulladékok káros hatása elleni védelem gyakorlati megvalósítása, amely a hulladékok *teljes életciklusára* vonatkozik. Ennek megfelelően elemei: a hulladékok *keletkezésének megelőzése, csökkentése*, a keletkezett hulladékok előírás szerinti *gyűjtése, előkezelése, kezelése, tárolása, szállítása és hasznosítása*, ill. a nem hasznosítható hulladékok környezetszennyezés nélküli *átmeneti tárolása és ártalmatlanítása*.

Az *ártalmatlanítás* a hulladék veszélyeztető hatása érvényesülésének a kizárása a környezet elemeitől történő izolálással (elszigeteléssel), vagy anyagi minőségének olyan megváltoztatásával, hogy veszélyessége megszűnjön, és a keletkező anyagok veszélyessége az eredeti hulladékénál kisebb legyen.

Az *előkezelés* a további kezelést elősegítő, illetőleg a hulladék veszélyességét vagy veszélyeztető hatását csökkentő tevékenység.

A *kezelés* a hulladék *ártalmatlanításának fizikai, kémiai, termikus és biológiai* módszereit magába foglaló *eljárások összessége*. A hulladékkezelési eljárások során a technológiai rendszer és a hulladék anyagi összetevőinek egymásra gyakorolt *kölcsönhatása* következtében a hulladék tulajdonságai megváltoznak (pl. mennyisége, veszélyessége csökken, közvetlenül hasznosítható állapotba kerül, vegyi összetétele megváltozik stb.).

A *tárolás* a (veszélyes) hulladék környezetszennyezést kizáró módon kialakított és üzemeltetett tárolótelepen történő elhelyezése, ha a (veszélyes) hulladék hasznosítása vagy ártalmatlanítása igénybevehető technológia vagy kapacitás hiányában nem oldható meg.

A *gyűjtőhely* a termelési, a szolgáltatási, a fogyasztási és a veszélyes hulladékok kezelésével kapcsolatos tevékenységek során keletkező veszélyes hulladékok tárolását, kezelését megelőzően az elhelyezésükre szolgáló terület, vagy létesítmény.

*A tároló-előkezelő telep* a (veszélyes) hulladékoknak – hasznosításuk, illetve ártalmatlanításuk megoldásáig – a környezet szennyezését kizáró módon történő tárolására épített létesítmény.

*A hulladékelhelyezés* a hulladékártalmatlanítás azon módszereinek összessége, amelyeknél a keletkezett hulladékok kezelve vagy kezeletlenül *végleges elhelyezésre* kerülnek egy alkalmas és/vagy megfelelően kialakított helyen, ill. területen.

*A hulladékhasznosítás* az a technológiai tevékenység, amelynek során az eredeti rendeltetésük szerint tovább nem használható anyagokat (termékeket, segédanyagokat, nyersanyagokat, stb.) közvetlenül vagy közvetve (átalakítást követően) a termelési vagy szolgáltatási folyamatok kezdetén részben vagy egészben a forgalombahozatal és a környezetvédelem követelményeinek, valamint a felhasználók igényeinek megfelelő terméké, vagy annak lényeges összetevőjévé alakítják.

*Az újrahasznosítás* (reuse) olyan eljárások összessége, amelyek a keletkezett hulladékok jellemzőinek döntő átalakításával állítanak elő másodnyersanyagokat, majd termékeket.

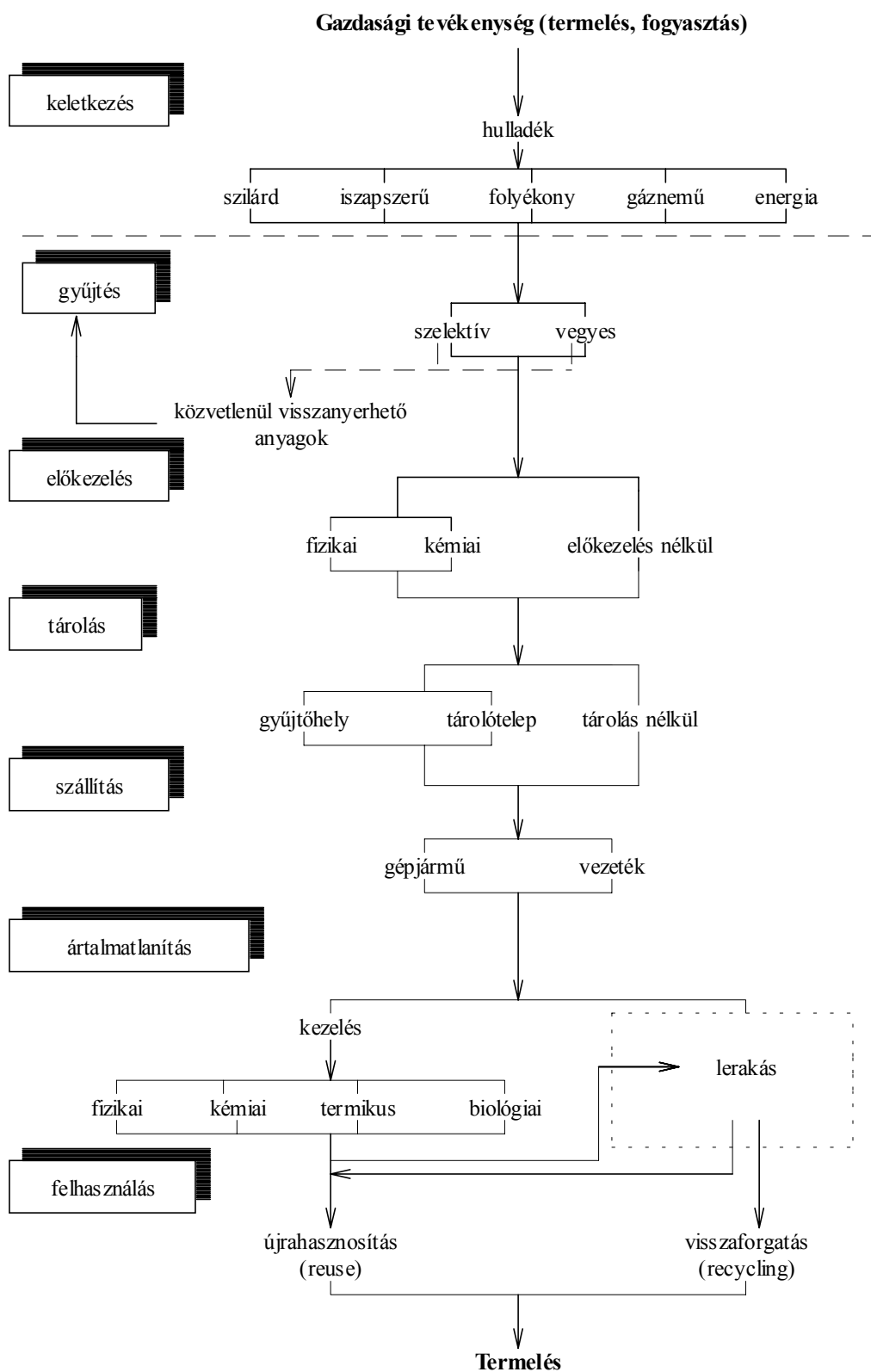
*A visszaforgatás* (recycling) olyan eljárások összessége, amelyek alkalmazásával a keletkezett hulladékok közvetlenül a termelésbe visszajuttathatók és másodnyersanyagként majd terméként hasznosíthatók.

A hulladékgazdálkodás rendszerét, az egymásra épülő műveleti egységek elvi kapcsolatait, és a rendszeren belül a hulladékelhelyezés helyét a **3.1. ábra** szemlélteti (BUNYEVÁ CZ et al., 1980.).

Ma már egyre inkább nyilvánvalóvá válik, hogy a fokozatosan növekvő hulladékmennyiség mind nagyobb problémát jelent, mert ezen anyagoknak a természetbe való visszajuttatása egyre inkább lehetetlenné válik, mivel az öntisztuló képességet a káros hatások sokszorosán felülműlják. Ebből következik, hogy a környezetvédelem egyik kiemelkedő feladata a hulladékgazdálkodás, és azon belül is prioritást kell hogy élvezzenek minél inkább a hulladékszegény technológiák (PAUKA, 1991.).

#### **3.1. A hulladékok elhelyezése**

A különféle emberi tevékenység során keletkező, különböző eredetű, összetételű, halmazállapotú és veszélyességű hulladékok környezetben történő elhelyezésének leggyakoribb és sokszor egyetlen módja a *lerakással történő ártalmatlanítás*. Ennek megtervezésénél azonban nem csupán a keletkezett hulladékok jellemzői és a lerakásra alkalmas területrészek természeti-környezeti viszonyai döntőek, hanem a hulladékok keletkezését és elhelyezését befolyásoló műszaki, gazdasági és jogi feltételek is. A tovább már nem hasznosítható, ill. kezelhető hulladékok lerakással történő ártalmatlanítása minden hulladékgazdálkodási rendszer elengedhetetlen művelete. Azonban az is világossá vált, hogy a hulladékok megfelelő formában történő gyűjtése, előkezelése, szállításra való alkalmassá tétele, az ártalmatlanítást célzó fizikai, kémiai, biológiai és termikus kezelése döntően kihat a lerakás egészére és alapvetően meghatározhatja a szükséges térfogatok, műtárgyak, védelmi módok, működtetési feltételek és az ellenőrzés kérdésköreit.



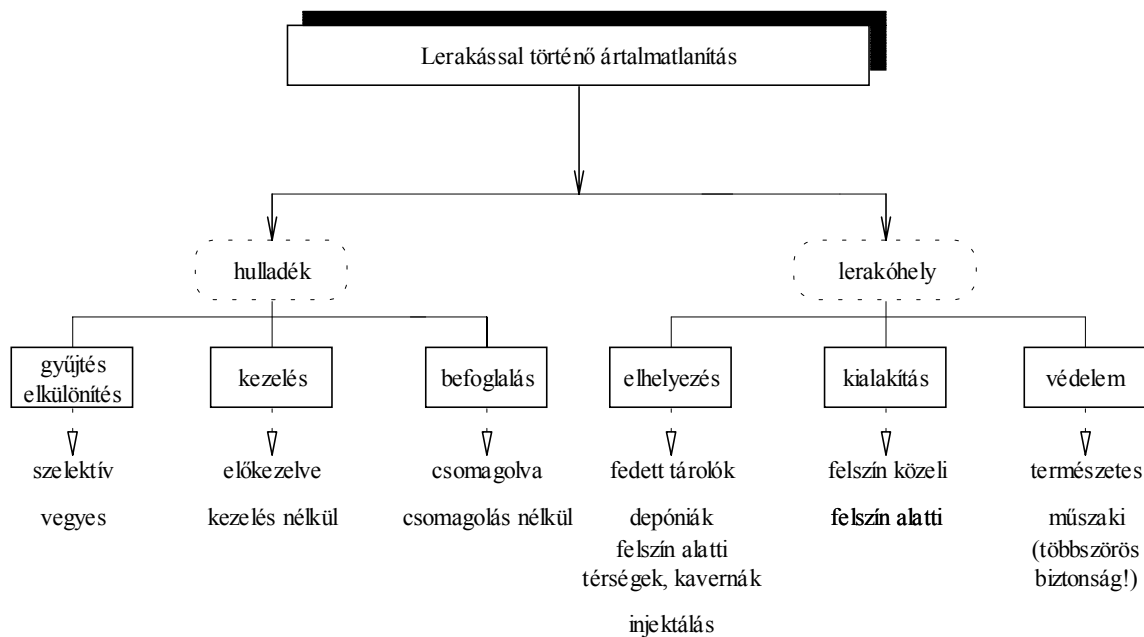


**3.1. ábra**  
A hulladékgyűjtés rendszere

**3.1.1. A hulladékgyűjtés rendszere**

A különböző halmazállapotú, csomagolt, vagy csomagolás nélküli kezelt, vagy kezeletlen hulladékok lerakással történő ártalmatlanítása számos módon valósítható meg, de a hulladék összetétele, halmazállapota, veszélyessége és az elhelyezésre alkalmas terület természeti-környezeti viszonyai mellett a lerakás célja is döntően befolyásolja a választott megoldást.

Ezeket a lehetséges módokat mutatja be a **3.2. ábra**, ami egyben azt is szemlélteti, hogy a lerakással történő ártalmatlanítás esetén a megelőző kezelésnek és a lerakóhely kiépítési módjának több változata létezik. Ez egyben azt is sejteti, hogy a rendkívül változatos elhelyezési célok, hulladéktulajdonságok, környezeti adottságok mellett univerzális és általánosan alkalmazható lerakási módok nehezen vagy egyáltalán nem dolgozhatók ki, ill. adhatók meg. Általános elvként elfogadhatjuk, hogy a *tárolás* csak indokolt esetben történjen (pl. üzemben belül egy adott mennyiség összegyűjtéséig, újrahasznosítás esetén) és a védelmi követelményeknek a végleges lerakással azonos szintűeknek kell lenniük.



**3.2. ábra**  
A hulladékgyűjtés rendszere

Nagy mértékben egyszerűsödik a helyzet abban az esetben, ha a különféle helyeken keletkezett hulladékok központi telepen kerülnek elő- vagy utókezelésre és tárolásra vagy lerakással történő ártalmatlanításra. Azonban még a különböző természeti-környezeti adottságok között kiépülő

telepeknél is változatos megoldásokat kell alkalmazni az azonos összetételű és halmazállapotú hulladékok esetében.

### **3.1.2. A hulladékelhelyezésnél figyelembe veendő feltételek**

Az átmeneti vagy végleges lerakás környezeti szempontból biztonságos megtervezéséhez elengedhetetlen a következő feltételek elemzése:

a) *A hulladék jellemzői szerint:*

- a halmazállapot, forma: folyadék, emulzió, zagy, iszap, por vagy szilárd (ömlesztett) anyag;
- a fizikai tulajdonságok: viszkozitás, olvadáspont, gyulladáspont, sűrűség, illékonyság, stb.;
- a kémiai összetétel: szerves és szervetlen anyagtartalom, nehézfémek koncentrációja, kémhatás, stb.;
- a biológiai tulajdonságok: fertőzés, karcinogén, mutagén hatások, stb.
- veszélyes sajátságok: a hulladék mérgező, fertőző, reakcióképes, gyúlékony, robbanásveszélyes, korrozív, stb. volta;
- a hulladék stabilitása: változékonysága a környezeti feltételektől és az időtartamtól függően;
- a hulladék keletkezésének folyamata, ciklusossága a tömegre és az időtartamra vonatkozóan.

b) *Az elhelyezés körülményei szerint:*

- az átmeneti tárolás vagy lerakás, egyedi módon vagy központi telepen;
- a lerakást megelőző kezelés jelenlegi módszerei, környezeti szempontú megfelelősége;
- a szükséges kezelés módja: méregtelenítés, térfogatcsökkentés, semlegesítés, stb.;
- az újrahasznosítás és visszaforgatás igénye, a készletek időbeni megőrzésének elvárásai;
- a lerakás terhelő, szennyező hatásainak maximálisan megengedhető mértéke a környezeti közegekben (levegő, víz, talaj, stb.), a környezet- és egészségvédelmi törvények és előírások betartása;
- a lerakott vagy újrahasznosításra kerülő, kezelt hulladékok megkívánt fizikai, kémiai, biológiai tulajdonságai.

c) *A környezeti szempontból megfelelő elhelyezési módszer szerint:*

- a természeti környezeti adottságok: földtani, hidrogeológiai, környezetegészségügyi, településfejlesztési szempontból alkalmas területszám kiválasztása;
- a természetes védelem kérdései: a kőzetek vízáteresztő képessége, csapadékviszonyok, talajvízszint mélysége és ingadozása, lefolyási viszonyok összefüggése a domborzattal és a fedettséggel stb.;
- az elhelyezés alkalmazható módszerei: a természetes és mesterséges védelem összefüggései és egyedi vagy kombinált alkalmazásuk;
- a lerakási változatok megbízhatósága és összeegyeztethetősége a környezetminőségi célokkal, előírásokkal.

d) *A gazdasági feltételek szerint:*

- a beruházási költségek;
- a kezelési és karbantartási költségek;
- a lerakást szükségszerűen megelőző kezelési költségek az anyagra és energiára vonatkozóan;

- az egységnyi mennyiségű lerakott hulladéokra vonatkozó elhelyezési költségek.

e) *Környezeti elvárások szerint:*

- a törvényes szabályozások kielégítése levegőre, természetes és mesterséges vizekre, a talajra, élővilágra, ökoszisztémára, a települési környezetre és a tájra vonatkozóan;
- a kibocsátások hatósági engedélyezése: a hulladékok, ill. a hulladékokból kioldódó anyagoknak levegőbe, vízbe, ill. talajba kerülése;
- az adott lerakási módszer hatósági elfogadhatósága, környezetvédelmi-egészségügyi megfelelősége, biztonságossága.

A környezetvédelmi elvárások kielégítését *környezeti hatástanulmánnyal* kell igazolni. A környezet védelmének általános szabályairól szóló 1995. évi LIII. Törvény - közismertebben a környezetvédelmi törvény - alapján a környezetre jelentős hatást gyakorló, azaz a *környezeti hatásvizsgálat- köteles tevékenységek* körét a 152/1995. (XII.12.) Korm. rendelet 1. A. melléklete határozza meg. Eszerint a

- települési és nem veszélyes hulladékot lerakással ártalmatlanító telep
- veszélyes hulladékok lerakótelepe
- veszélyes hulladék tároló-kezelő telepe

létesítése vagy tevékenységbővítése esetén a környezeti hatásvizsgálat elvégzése kötelező. A környezeti hatásvizsgálattal a 4. 6. fejezet foglalkozik részletesen.

A hulladékok környezeti szempontból biztonságos *tárolása, vagy a lerakással történő ártalmatlanítás módszerének megtervezésénél* két résztémakörrel kell behatóan foglalkozni: az egyik a *hulladék, mint anyag: a másik pedig a lerakóhely, mint befogadó műszaki létesítmény*. A lerakásra kerülő hulladék tulajdonságainak alkalmas megváltoztatásával és/vagy csomagolásával, a lerakóhely környezetben történő elhelyezésével, kialakításával, a természetes és műszaki védelem különböző mértékű, kombinált alkalmazásával egy-egy hulladékfajtánál is a lerakási módok igen nagy változatossága és különböző mértékű biztonságossága valósítható meg. Ezeknek az összefüggéseknek a felvázolásán túlmenően a **3.2. ábra** a hulladékkal kapcsolatos műveletek és a lerakóhely különféle szempontú típusait is bemutatja. A hulladék mint anyag elsősorban a hulladékgazdálkodás témakörébe tartozik, és az ÁRVAI J. által szerkesztett "*Hulladékgazdálkodási kézikönyv*" igen részletesen és színvonalasan tárgyalja ezen ismereteket. A következőkben a teljesség igénye nélkül röviden áttekintjük azokat a *hulladékkezelési eljárásokat*, amelyek a hulladékjellemzők megváltoztatásával befolyásolják a hulladékkelhelyezés körülményeit.

### **3.2. A hulladékjellemzők változtatása**

A hulladékanyagok *elkülönítése, kezelése és csomagolása* alkalmas módon végrehajtva olyan eljárások, amelyekkel alapvetően befolyásolható a lerakásra kerülő hulladék összetétele, fizikai, kémiai és biológiai jellemzői, valamint ezekkel összefüggésben veszélyessége is. Nyilvánvaló, hogy a tulajdonságok környezeti szempontból kedvező befolyásolása jelentősen kihat a lerakóhely elhelyezésének, kialakításának, ill. védelmi módozatainak megválasztására és a kivitelezés és üzemeltetés költségeinek alakulására is.

#### **3.2.1. Elkülönítés**

A keletkező hulladékok szelektív vagy vegyes gyűjtése mellett még egy lehetőség van a különböző hulladékfélésegek elkülönítésére, mégpedig a lerakás során. Az egyes hulladékok szelektív gyűjtésének és elkülönítésének célja lehet:

- a közvetlen újrahasznosítás,
- a készletek megőrzése átmeneti időre, az újrahasznosításig,
- a különböző, egymással összeférhetetlen hulladékok keveredésének elkerülése. (A vegyi anyagok együttes lerakhatóságával kapcsolatos kompatibilitási ill. inkompatibilitási diagramot mutat be a **8.7. ábra**, illetve a **8.2. táblázatban** találhatjuk az egymással összeférhetetlen hulladékok felsorolását.)

#### **3.2.2. Kezelés**

A hulladékok fizikai, kémiai, biológiai és termikus módszerekkel történő kezelése a keletkezett vagy lerakásra kerülő hulladékok adott jellemzőinek alapvető megváltoztatását teszi lehetővé. A rendkívül sokféle kezelési eljárás mód alkalmazásának célja a lerakást megelőzően a következő lehet:

- az egyes hulladékösszetevők visszanyerése az újrahasznosítás érdekében;
- a térfogat csökkentése;
- a veszélyes összetevők átalakítása a környezetre kevésbé veszélyes vagy veszélytelen formába.

A különböző folyamatokban keletkező hulladékok kezelése több helyen valósítható meg: közvetlenül a keletkezés helyén, átmeneti gyűjtő- és tárolóhelyen, központi kezelőtelepen vagy éppen a lerakásnál. Általában elmondható, hogy az utóbbi eset kivételével a legkülönbözőbb fizikai-, kémiai- valamint biológiai módszerek használhatók fel a hulladékjellemzők célszerű megváltoztatására.

A megfelelő hulladékkezelési módszer kiválasztásához és tervezéséhez alapvetően a kezelendő hulladék fizikai-, kémiai és biológiai jellemzéséből kell kiindulni. A vizsgálati célkitűzésektől függően az elemzésekkel összefüggő feladatok a következők (OLESSÁK, 1990.):

- átfogó, teljeskörű analitikai vizsgálatok a hulladék általános jellemzésére;
- egyes, meghatározott tulajdonságok vizsgálatára irányuló elemzések, különös tekintettel a számításba jöhető kezelési technológiákra;
- a hulladék és a kezelési eljárás komplex környezeti hatásának vizsgálata a környezeti veszélyeztető potenciál meghatározásával.

Mindig a megoldandó feladat szabja meg a vizsgálatok mélységét és körét. Értelemszerűen eltérő az elvégzendő vizsgálatok köre pl. hulladékégetésnél, vagy egy tervezett szilárdítási vagy befoglalási eljárásnál.

A különféle fizikai formában lévő hulladékok kezelésére alkalmas módszerek körét foglalja össze a **3.1. táblázat**, utalva egyben a megvalósíthatóságra is. Ez egyben érzékelteti azt is, hogy a hulladékok fizikai, kémiai, biológiai, ill. termikus kezeléssel történő ártalmatlanításának kiválasztása és megvalósítása komoly szakmai felkészültséget igényel. Ebből adódik, hogy a veszélyes hulladékok kezelését, veszélyes komponenseik átalakítását döntően a gyártástechnológia szerves részeként a keletkezés helyén és/vagy jól felszerelt központi hulladékkezelő telepeken célszerű, ill. kell végrehajtani.

A keletkezés helyén vagy a központi kezelőtelepeken ártalmatlanított és lerakásra kerülő hulladék még egy további, *utolsó kezelése elvileg történhet még a befogadó műszaki létesítményben is*, de ez a gyakorlatban nem terjedt el.

Ugyanez érvényes a keletkezett, előkezelt, vagy kezeletlenül lerakásra kerülő hulladékok esetében is. Itt nyilvánvalóan csak *egyszerűen kivitelezhető fizikai, kémiai, esetleg biológiai módszerek alkalmazhatók*. Ezeket az átalakítási műveleteket vagy a lerakó tározóterébe történő betöltéssel egyidejűleg, vagy azt követően lehet elvégezni. Ilyen műveletek a következők (BUNYEVÁ CZ et al., 1980.):

- *Meszezés*: amelynek során mészpor vagy mésztej adagolásával és bekeverésével a hulladéktömeg kémhatása (pH-ja) széles tartományban változtatható. A lejátszódó folyamatok a semlegesítés (vagy továbbadagolásnál lúgosítás) és a kicsapatás. A hulladék - mint közeg - kémhatásának befolyásolásával a különböző, különösen a veszélyes nehézfémek (pl. króm, kadmium, cink, stb.) gyakorlatilag oldhatatlan hidroxidokként lesznek jelen a hulladék tömegében; így kimosódásuk, vándorlásuk veszélye hatásosan csökkenthető.

Sűrű iszapoknál, vagy szilárd fázisú hulladékoknál a bekeverés helyett a lerakásnál mészrétegek kialakításával is fokozható az elhelyezés biztonsága; a hulladék rétegekből kimosódó vegyületek a mészrétegen vagy megkötődnek, azzal reagálnak, vagy az oldat kémhatása megváltozik és a nehézfémek esetében kicsapódás játszódik le.

- *Szorbens anyagok alkalmazása* során a bekevert vagy rétegesen bevitt anyagok komponensmegkötő tulajdonságai hivatottak biztosítani a veszélyes összetevők lerakóhelyen és hulladéktömegben belül történő maradását.

A legszélesebb körben alkalmazhatók azok az anyagok, amelyeknek puffer- és adszorpciós kapacitása mellett az oldatáteresztő képessége is rossz. A különböző természetes és mesterséges anyagok (pl. zeolitok, eröművi pernyék, tőzeg, bentonit, stb.) meglehetősen specifikus szennyezőanyag-megkötők, ami általános alkalmazásukat korlátozza.

3.1. táblázat

| <i>A hulladékkezelési módszerek összefoglalása, alkalmazási lehetőségeik</i>                       |         |                    |         |         |                    |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|---------|---------|--------------------|-------|
| Módszer                                                                                            | Szilárd | Egyfázisú rendszer |         |         | Kétfázisú rendszer |       |
|                                                                                                    |         | folyadék           |         |         | zagy               | iszap |
|                                                                                                    |         | szervetlen         | szerves | keverék |                    |       |
| <b>FÁZISSZÉTVÁLASZTÁS</b>                                                                          |         |                    |         |         |                    |       |
| centrifugálás                                                                                      | n       | n                  | n       | n       | n                  | n     |
| flokkulálás                                                                                        | n       | n                  | n       | n       | i                  | n     |
| szűrés                                                                                             | n       | n                  | n       | n       | i                  | n     |
| ülepítés                                                                                           | n       | n                  | n       | n       | i                  | n     |
| bepárlás                                                                                           | n       | n                  | n       | n       | i                  | i     |
| desztillálás                                                                                       | n       | n                  | n       | n       | i                  | i     |
| flotálás                                                                                           | n       | n                  | n       | n       | i                  | n     |
| ultraszűrés                                                                                        | n       | n                  | n       | n       | n                  | n     |
| lecsapatás                                                                                         | n       | n                  | n       | n       | n                  | n     |
| mágneses elválasztás                                                                               | l       | n                  | n       | n       | n                  | n     |
| <b>KOMPONENS SZÉTVÁLASZTÁS</b>                                                                     |         |                    |         |         |                    |       |
| fordított ozmózis                                                                                  | n       | i                  | n       | i       | n                  | n     |
| ioncsere:                                                                                          |         |                    |         |         |                    |       |
| -hagyományos                                                                                       | n       | i                  | i       | i       | n                  | n     |
| -folyékony                                                                                         | i       | i                  | i       | n       | i                  | i     |
| kifagyasztva kristályosítás                                                                        | n       | i                  | i       | n       | i                  | i     |
| adszorpció:                                                                                        |         |                    |         |         |                    |       |
| -aktívszézen                                                                                       | n       | i                  | n       | i       | n                  | n     |
| -gyantán                                                                                           | n       | i                  | n       | i       | n                  | n     |
| elektrodialízis                                                                                    | n       | i                  | n       | i       | n                  | n     |
| légbefűvés                                                                                         | n       | n                  | i       | i       | i                  | n     |
| ammónia-kifűvés                                                                                    | i       | i                  | n       | n       | n                  | n     |
| gőzbeűvés                                                                                          | i       | n                  | i       | i       | i                  | n     |
| folyadékextrakció                                                                                  | l       | i                  | i       | n       | n                  | n     |
| szeparátorok (mechanikai,<br>hidromechanikai, mágneses,<br>elektrosztatikus, optikai, (infravörös) | i       | n                  | n       | n       | n                  | n     |
| <b>KÉMIAI ÁTALAKÍTÁS</b>                                                                           |         |                    |         |         |                    |       |
| hidrolízis                                                                                         | l       | n                  | i       | i       | i                  | i     |
| kicsapatás                                                                                         | n       | i                  | i       | i       | n                  | n     |
| oxidáció (vegyszeres, nedves,<br>szuperkritikus, ózonos)                                           | n       | i                  | i       | i       | n                  | n     |
| dehalogénezés                                                                                      | n       | n                  | l       | l       | n                  | n     |
| semlegesítés                                                                                       | n       | i                  | i       | i       | i                  | i     |
| kalcinálás                                                                                         | i       | i                  | i       | i       | i                  | i     |
| klórozás                                                                                           | n       | n                  | i       | i       | n                  | n     |
| elektrokémiai módszerek<br>(elektrolízis, elektrodialízis)                                         | n       | i                  | i       | i       | n                  | n     |
| elektroflotálás                                                                                    | n       | i                  | n       | l       | n                  | n     |
| redukció                                                                                           | n       | i                  | i       | i       | n                  | n     |
| fotolízis                                                                                          | n       | n                  | i       | i       | n                  | n     |
| katalitikus hidrogénezés                                                                           | n       | n                  | i       | n       | n                  | n     |
| <b>BIOLÓGIAI ELJÁRÁSOK</b><br>(aerob és anaerob módszerek, enzi-<br>mes kezelés)                   | i       | n                  | i       | i       | i                  | i     |
| <b>TERMIKUS ELJÁRÁSOK</b>                                                                          |         |                    |         |         |                    |       |
| hulladékégetés                                                                                     | i       | i                  | i       | i       | i                  | i     |
| hőbontás (pirolízis)                                                                               | i       | n                  | i       | i       | i                  | i     |

i: alkalmazható

l: az alkalmazás lehetséges

n: nem alkalmazható

#### 3.2.3. Csomagolás, befoglalás

Ezt az eljárást elsősorban a veszélyes hulladékok esetében alkalmazzák, ahol a csomagolásnak, ill. a befoglalásnak - a keletkezéstől kezdve a végleges lerakásig - több oka és célja lehet:

a) *Az elkülönített, biztonságos gyűjtés és tárolás igénye:*

A keletkező hulladék más anyagokkal, hulladékfélésekkel érintkezve veszélyes helyzetet teremt: hőfejlődés, toxikus anyag (pl. ciánhidrogén) képződése, tűz- és robbanásveszélyes elegy létrejötte, stb. Gyakori, hogy egy adott gyártástechnológiában nagyobb hőmérsékleten keletkezik a folyékony hulladékanyag, ami azután szobahőmérsékleten megszilárdul; így összegyűjtése, tárolása célszerűen a magasabb hőmérsékletet jól bíró acélhordókban, vagy konténerekben történik (pl. szerves vegyipari hulladékkeverékek esetén).

b) *A szállítás biztonságossá tétele:*

A különféle veszélyes anyagok közúton, vasúton, valamint vízi úton történő, a különböző biztonsági elvárásokat kielégítő szállítását országos és nemzetközi előírások rögzítik; a veszélyes hulladékok szállítását ezeknek megfelelően kell megoldani. Itt fontos a veszélyes anyagok megfelelő elkülönítése, csomagolása, jelölése és a fő potenciális veszély megjelölése mellett a szükséges biztonsági és kezelési feladatok megadása veszélyhelyzet, baleset esetére is. Ezek mindig a hulladékot termelő feladatai.

c) *Készletmegőrzés:*

A keletkezett és gyűjtött, csomagolt és elszállított hulladék eredeti formában történő megőrzése a későbbi felhasználás érdekében ugyancsak megkívánhatja a különböző fizikai formában lévő és veszélyességű hulladékfélések célnak és alkalomnak megfelelő csomagolását (pl. használt oldószerek regenerálásig vagy égetésig történő ballonos gyűjtése, tárolása, porszerű hulladék vagy víztelenített galvániszap műanyag zsákos megőrzése, stb.)

d) *A lerakás biztonságának fokozása:*

A veszélyes hulladékok lerakásának biztonságát hivatott fokozni a csomagolás és/vagy befoglalás, amelyek lényegében a passzív védelem körébe tartozó eljárások. A csomagolással történő hulladékelhelyezést indokolhatja emellett az is, hogy a lerakóhelyre már csomagolva érkezik a kezelt vagy kezeletlen hulladék, aminek kiszemelése felesleges energiát és beruházást igényelne.

##### 3.2.3.1. Csomagolás

A csomagolás lényegében a különböző jellemzők alapján veszélyesnek minősülő hulladékanyagok bevonását és/vagy már előre előkészített tárolóeszközökbe (hordó, tartály, zsák, ballon, stb.) történő betöltését, berakását jelenti. A csomagolt hulladékanyagok mozgathatók, szállíthatók; ilyen eljárást főként az átmeneti tárolás igényel a gyűjtésen és szállításon kívül.

Az alkalmazható csomagolóanyagok széles körben kerülhetnek felhasználásra; az adott célra való alkalmasságukat azonban döntően a hulladékanyagok fizikai és kémiai jellemzői befolyásolják, valamint a csomagolás fizikai, kémiai behatásokra elvárt időállósága.

A lerakásnál alkalmazott csomagolás így a különböző veszélyességű és mennyiségű, azonos vagy különféle hulladékanyag "adagok" fizikai elkülönítésére, jó kezelhetőségére és a műszaki védelem időfaktort is figyelembe vevő biztonságának fokozására szolgál.

### **3.2.3.2. Befoglalás**

A *befoglalás* mindazon eljárások összefoglaló neve, amelyek célja veszélyes hulladékok *szilárd közegben, ún. mátrixban történő megkötése, bezárása fizikai és/vagy kémiai úton*. Az e módszerekkel stabilizált veszélyes hulladék és befoglaló anyag együttese jelentősebb szilárdságú és kis vízvezetőképességű rendszert alkot, ami az ártalmatlanítás biztonságával szemben megfogalmazható elvárások miatt rendkívül előnyös. Így a különböző eredetű, összetételű és fizikai formában lévő hulladékok veszélyessége jelentős mértékben mérsékelhető vagy megszüntethető; a lerakás biztonsága hosszabb távon is igen kedvezővé válik, ami gyakorlatilag minden lerakásos elhelyezés kényes problémaköre.

A befoglalásos módszerek ma már elterjedten használatosak a radioaktív hulladékok elhelyezésénél; a veszélyes hulladékanyagok lerakással történő ártalmatlanításánál csak az utóbbi években kezdenek világszerte terjedni. Ezt részben a költségessége, másrészt pedig az eddig "biztonságos"-nak tekintett lerakóhelyeken szerzett kedvezőtlen tapasztalatok magyarázzák.

#### *a) Cement és pernye alapú eljárások*

A veszélyes hulladékok "adagjai" cement és/vagy pernye felhasználásával *monolit tömbökké alakíthatók*. Folyamatos vagy szakaszos üzemben, rendszerint nedves hulladékanyagok (iszap, zagy, pép) közvetlen bekeverésével történik a veszélyes komponensek stabilizálása. A cement mint kötőanyag felhasználása igen eredményesen alkalmazható a különböző eredetű nehézfém-tartalmú iszapok, csapadékok megszilárdítására, befoglalására. A cement-víz keverék erősen lúgos oldata a nehézfémek többségét gyakorlatilag oldhatatlan hidroxid formában kicsapja, a fémek másik része pedig karbonát alakjában kötődik meg és képez stabilis, megszilárduló tömböt. Különböző adalékok alkalmazásával a végtermék vízzáró képessége növelhető (RESOLIT, epoxigyanták, stb.), a tömbök szilárdsága azbeszt-, latex- és műanyagszálak bevitelével fokozható.

A széntüzelésű erőművek légtisztító berendezéseiben leválasztott, kötés szempontjából aktív *pernyék* ugyancsak felhasználhatók a hulladékok stabilizálására. Amellett, hogy a pernye, mint különböző oxidok ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ , stb.) keveréke önmagában is köt, *cement vagy mész adagolásával* a kötés biztonsága javítható.

#### *b) Mész alapú eljárások*

A felhasznált anyagok: mész, finomszemcsés szilikát és víz, amelyeknek a keveréke kötés után szilárd terméket eredményez (puzzolán-beton). A finomszemcsés szilikátadalék leggyakrabban a pernye, a cementégetők szállópora vagy a homok. Itt is alkalmazhatók a vízáteresztőképességet csökkentő és szilárdságot növelő adalékok; a szilárdulási idő azonban hosszabb, mint a cement alapú módszereknél és emellett lerakáskor tömörítésre is szükség lehet (csömöszölés, vibrálás, stb.).



A mész alapú eljárások - hasonlóan a cement és pernye alapúakhoz - *főként szervesen veszélyes hulladékok* (galvániszap, füstgáz, mosókból származó zagyok, stb.) *befoglalással történő stabilizálására használhatók* fel; a szerves anyagok megkötésénél azok szilárdulás utáni bomlása a tömbök vízáteresztőképességének növekedését és mechanikai stabilitásának csökkenését eredményezheti.

#### c) *Hőre lágyuló anyagok alkalmazása*

A veszélyes hulladékok befoglalására bitument, paraffint vagy polietilént is fel lehet használni; itt a száraz, szilárd hulladék bekeverése, beágyazása 100°C hőmérséklet felett történik meg. A lehűlt és megszilárdult keverékben a veszélyes összetevők stabilitását a fizikai megkötés biztosítja. A lerakás előtt a tömböket még műanyag borítással, csomagolással is el lehet látni, ami a biztonságot fokozza.

#### d) *Szerves polimerek felhasználása*

A szerves polimerek alkalmazása esetén a stabilizálandó veszélyes hulladékösszetevők és a kötőanyag között szintén csak fizikai kapcsolat létesül. Az eljárás a hőre lágyuló anyagoknál kialakult módszerekhez hasonló; a leggyakrabban alkalmazott kötőanyagok a karbamid-formaldehid és a különböző polivinil - és a poliészter-gyanták.

#### e) *Gipszképzési eljárások*

Viszonylag kevés adalékanyaggal gyors kötési idő érhető el. A termék stabilis, biológiailag nem bontható.

#### f) *Üvegbe történő beágyazás*

Nagy energiaigényű, speciális berendezést és szakembereket igénylő, de igen jó hatásfokú beágyazási eljárás. A beágyazás olvadékból történik, amely kihűlés után megszilárdul. Elsősorban radioaktív hulladékok befoglalására alkalmazzák. Az egyes eljárások a technológia módja és helyszíne szerint a következőképpen csoportosíthatók (SZOBOR, 1992.):

- Tartályos eljárás. A kötőanyagot tartályban levő hulladékhoz adagolják. Keverés és kötés után a hulladékot a tartállyal együtt lerakják.
- Üzemi eljárás. A befoglalás speciálisan a szilárdítás technológiájához kialakított üzemben történik.
- Mobil üzemi eljárás. A szilárdításhoz alkalmazható mobil vagy könnyen szállítható üzem, amely a helyszínen működik.
- Helyszíni eljárás. A kötőanyagot közvetlenül a hulladéktárolóba vagy a talaj felszín alatti rétegébe adják be.

Az egyes beágyazási eljárások jellemzőit, előnyeit hátrányait a **3.2. táblázat** foglalja össze (OLESSÁK, 1992.).

3.2. táblázat

| <i>A beágyazási eljárások jellemzői (OLESSÁK, 1990.)</i> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Eljárás</b>                                           | <b>Előnye</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Hátránya</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Cementalapú                                              | Olcsó adalékanyagok; kidolgozott eljárások; ésszerűen megvalósítható berendezések. Az eljárás a hulladékok vegyi összetételének ingadozására nem érzékeny. A cement adagolásával szabályozható a szilárdság és a vízáteresztő képesség. Mérgező szervesetlen vegyületekhez, a füstgáztisztítás szilárd és iszapmaradékaihoz jól alkalmazható. | A savas oldatokra a kis szilárdságú betonok érzékenyek; adott körülmények a beton bomlását idézhetik elő. Az egyes hulladékfajták esetében szükséges előkezelés és adalékok alkalmazása költségnövelő. A cement és más adalék növeli a tömeget és térfogatot. Szerves hulladék és mérgező anionok esetében nem megfelelő.                                                                                                                                     |
| Mész, pernyealapú                                        | Az adalékok olcsók és könnyen beszerezhetők; a berendezések egyszerűek. A lejátszódó reakciók jól ismertek (puzzolánreakció). Mérgező szervesetlen hulladékhoz, füstgáztisztítók szilárd és iszapmaradékaihoz jól alkalmazható                                                                                                                | A stabilizált hulladéktömb érzékeny a savas oldatokra és a szervesetlen szennyeződésekre, ami lassítja a kötési folyamatot. Szerves hulladékhoz és mérgező anionokhoz nem alkalmazható.                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Hőre lágyuló anyagok felhasználása                       | A szennyező anyagok migrációja általában kisebb, mint más beágyazási módszernél. A végtermék jól ellenáll a legtöbb vizes oldatnak. A hőre lágyuló anyagok jól tapadnak a hulladékhoz. Mérgező szervesetlen vegyületekhez alkalmazható                                                                                                        | Drága berendezések és szakképzett személyzet szükséges hozzá. A kis hőmérsékleten párolgó hulladékkomponensek gondot okoznak; a hőre lágyuló anyagok gyúlékonyak. A nedves hulladékot stabilizálás előtt szárítani kell. Szerves anyagokat, erős oxidálószeret tartalmazó hulladékhoz nem alkalmazható                                                                                                                                                        |
| Szerves polimerek alkalmazása                            | Kis mennyiségű adalék szükséges a keverék megszilárdításához; a végtermék más eljárásokhoz viszonyítva kis sűrűségű. Száraz és nedves hulladék (főként iszap) esetében egyaránt jó eredményt ad. Különleges berendezés nem szükséges hozzá. Mérgező, szervesetlen hulladékhoz jól alkalmazható                                                | A hulladékkomponensek laza szerkezetű gyantamátrixban helyezkednek el. A karbamid-formaldehid eljárás katalizátorai erősen savasak, a legtöbb fém kis pH-értéknél oldódik, és belekerülhet a csurgalékvizekbe a polimerizálódás alatt. Egyes szerves polimerek biológiailag lebonthatók. A végleges lerakáshoz még tároló- és csomagolóeszközt is fel kell használni. Savas és erős oxidálószer tartalmú, valamint szerves anyagú hulladékokhoz nem megfelelő |
| Kapszulázás                                              | A hulladék nem tud érintkezni a vízzel, így jól oldható anyagokhoz sikeresen alkalmazható. A kettős burkolat ellenáll a külső környezeti hatásoknak.                                                                                                                                                                                          | A felhasznált kötőanyagok drágák. Az eljárás energiaigényes (szárítás, hevítés). Speciális berendezéseket igényel, alkalmazásához laboratóriumi háttér és szakképzett személyzet szükséges.                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Gipszképzés                                              | Kevés adalékanyagot igényel, gyors a kötési idő. A termék stabil, nem éghető, biológiailag nem bontható. Nehézfém-visszatartása jó, részbeni szárítást igényel                                                                                                                                                                                | Csak szulfít vagy szulfittartalmú iszapra alkalmas. A kioldási jellemzők a cement- és mészalapú eljárásokéval azonosak. A kalcináláshoz többletenergia és külön berendezés szükséges.                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Üvegbe történő beágyazás                                 | Igen jó hatásfokú beágyazás. A nyersanyagok olcsók, könnyen hozzáférhetők                                                                                                                                                                                                                                                                     | Az eljárás energiaigénye nagy. Speciális berendezéseket és szakképzett személyzetet igényel.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

### 3.3. Irodalomjegyzék

- ÁRVAI J. (szerk.) (1993):*  
Hulladékgazdálkodási kézikönyv  
Műszaki Könyvkiadó, Bp.
- BONNYAI Z.-HAJDÚ A.-OLESSÁK D.-RÉPÁSI G. (1990):*  
Hulladékgazdálkodás  
Környezetgazdálkodási Intézet, Bp., Jegyzet
- BUNYEVÁ CZ J.-VÁRNAI P.-KABAI J.-KABAI Jné (1980):*  
Tervezési útmutató a veszélyes hulladékok lerakással történő elhelyezéséhez  
DÉLTERV, Pécs, Kézirat
- CHRISTENSEN, TH.H.-COSSU, R.-STEGMANN, R.. (1989):*  
Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact  
Academic Press
- DAVIS, M.L.-CORNWELL, D.A. (1985):*  
Introduction to Environmental Engineering  
McGraw-Hill Inc.
- GEAKE, A.K.-FOSTER, S.S.D. (1987):*  
Unsaturated zone pollutant transport beneath a low-technology wastewater reuse facility  
Proc. Int. Conf. Vulnerability of Soil and Ground Water to Pollutants, Hague, pp. 1011-1025.
- HORVÁTH ZS. (1985):*  
Települési szilárd hulladékok környezetkímélő elhelyezésének környezetföldtani szempontjai  
Hidrológiai Közlöny, 2. sz. pp. 85-88.
- HORVÁTH ZS.-MOYZES A.-SCHEUER GY. (1978):*  
A hulladék elhelyezés környezetföldtani irányelvei  
Műszaki Tervezés, XVIII. évf. 7. sz. pp. 8-11.
- OLESSÁK D. (1990):*  
Hulladékgazdálkodás  
Környezetgazdálkodási Intézet, Jegyzet, Bp.
- OLESSÁK D. (1993):*  
Hulladékkezelési eljárások  
Hulladékgazdálkodási kézikönyv (szerk.: ÁRVAI J.), 8. fejezet  
Műszaki Könyvkiadó Bp.
- PAUKA I. (1991):*  
Hulladékcsökkentő technológiák  
Műszaki Gazdasági Magazin, 3. évf. pp. 1019-1040.
- TILTMAN, K.O. (1993):*  
Handbuch Abfallwirtschaft und Recycling  
Gesetze-Techniken-Verfahren  
Vieweg Verlag GmbH

## 4. FEJEZET

### A HULLADÉKLERAKÓK HELYKIVÁLASZTÁSÁNAK SZEMPONTJAI

#### 4.1. A területkiválasztásnál figyelembe veendő tényezők

A hulladékok rendezett lerakása a hulladékártalmatlanítás módszerei közül az egyik lehetséges megoldás. A hulladéklerakás számára alkalmas terület kiválasztása igen összetett, nagy gondosságot és körültekintést igénylő feladat. Megoldásánál számos szempont egyidejű figyelembevételére van szükség.

A *biztonságot elsődlegesen megszabó természeti* (morfológiai-, földtani, vízföldtani, geotechnikai viszonyok) *tényezők* és a *mesterséges védelem* mellett a területkiválasztásnál számos egyéb szempontot is figyelembe kell venni, amelyek között kényszerűen kompromisszumot kell találni. Olyan terület, amely minden kritériumnak teljes mértékben megfelelne, általában nincs. A tervezés előkészítő fázisában ezért mindig több lehetséges változatot kell vizsgálni és ezek közül kiválasztani azt a leginkább alkalmas területet, amelynél megvannak a megvalósíthatóság reális esélyei.

#### *A. Hulladékgazdálkodási szempontok*

##### *A.1. Nem veszélyes (települési és termelési tevékenységgel kapcsolatos) hulladékok esetén:*

##### *A.1.a. A begyűjtési terület vonatkozásában:*

- a terület nagysága, méretei,
- a kiszolgált lakosság száma, éves ingadozása és várható változása legalább 30 éves üzemeltetési időtartam alatt,
- a területen található termelő létesítmények és intézmények jellege, fejlesztési irányai és azok mértéke, jellemzői,
- a terület topográfiai és éghajlati jellemzői.

##### *A.1.b. A feldolgozásra kerülő hulladék vonatkozásában:*

- a begyűjtésre kerülő hulladékok mennyisége, a mennyiség éves ingadozása és várható változása legalább 30 éves üzemeltetési időtartam alatt (külön a települési és külön a termelési nem veszélyes hulladékokra),
- a begyűjtött hulladékok összetételének, fizikai és kémiai jellemzőinek, valamint ezek éves ingadozásának és prognosztizált (legalább 30 éves üzemeltetési időtartam alatti) változásának ismerete (külön a települési és külön a termelési hulladékokra).

##### *A.1.c. A hulladékgyűjtés rendszere vonatkozásában:*

- az alkalmazott gyűjtőedényzet és szállítójárművek típusa, műszaki jellemzőik, mennyiségük,
- a gyűjtési-szállítási rendszer jellemzői (idő, távolságok, gyakoriság, fordulási idő, költségek),
- a telephely megközelítési lehetőségei és úthálózati feltételei (útvonal, méretek, használati állapot, terhelhetőség, forgalomsűrűség, forgalmat akadályozó tényezők, védőtávolság) valamint esetenként az iparvágányra csatlakozás feltételei.

### A.2. Veszélyes hulladékok esetén:

#### A.2.a. A hulladékok fizikai és kémiai jellemzői

A hulladékok tulajdonságai közül meghatározandók a következők:

- a hulladék toxicitása, veszélyességének mértéke,
- halmazállapota,
- fizikai, kémiai tulajdonságai: viszkozitás, olvadáspont, gyulladáspont, sűrűség, illékonyság, vízben való oldhatóság, pH stb.,
- kémiai összetétele: szerves- és szervetlen anyag tartalom,
- a hulladék stabilitása: változékonysága a környezeti feltételektől és az időtartamtól függően,
- a hulladék mennyisége,
- a hulladék kezelése, csomagolása, befoglalási állapota,
- kompatibilitása egyéb hulladékokkal.

A fenti jellemzők alapján a hulladék a vonatkozó előírások alapján veszélyességi kategóriába (osztályba) sorolható, ami végső soron jelentősen befolyásolja a szükséges védelem (természetes, mesterséges) módját.

#### A.2.b. A lerakás körülményei:

- központi telepen vagy elkülönített helyen való lerakás kérdése, szállítási szempontok,
- a lerakás előtti anyagelőkészítés vagy feldolgozás szükségessége, módszere,
- a későbbi esetleges feldolgozási igény és ezzel kapcsolatosan a szükséges tárolási idő.

#### B. Gazdasági szempontok

- a terület minél kisebb ráfordítással, a szükséges, de lehetőleg minimális további műszaki védelemmel, elsősorban természeti adottságai alapján alkalmas legyen a lerakóhely kialakítására,
- a terület megközelíthetősége biztonságos és olcsó legyen (szállítási költségek optimalizálása),
- közművel való ellátottság (elektromos energia, víz, csatorna, telefon),
- csatlakozási lehetőség szennyvíztisztítóhoz, az ártalmatlanító létesítmények elhelyezése,
- területnagyság, a tároló hasznos térfogata, bővítési lehetőségek.

A gazdasági szempontok egyik alapvető kérdése a természetes és a mesterséges védelem aránya. Valójában egy hulladéklerakó létesítése minden esetben bizonyos kockázattal veszélyt jelent a környezetre. A helyes és gazdaságos kockázat értéke függ a műtárgy tönkremenetele, meghibásodása révén bekövetkező kártól, valamint annak saját költségétől. Az utóbbi egy hulladéklerakó esetén könnyen számszerűsíthető, azonban a másoknak okozott kár fogalma sok esetben nem mérhető (pl. egy adott vízbázis elszennyezése, aminek az eredményeként pl. egészségkárosodás léphet fel).

A **4.1. ábra** szemlélteti, hogy a lerakónak a természetes és a művi védelemmel együtt, minden számításba jöhető lehetőségénél azonos biztonságot kell biztosítani (JUHÁSZ-SZABÓ, 1991.). Végül a földtani környezet és a mesterséges védelem kialakításánál van egy *gazdasági optimum is*. Mindig figyelembe kell venni, hogy a *mesterséges védelem is meghibásodhat, tehát egy minimális földtani védelemnek minden esetben lennie kell*.



**4.1. ábra**

Azonos kockázat megoszlása a természetes és a művi védelem között  
(JUHÁSZ-SZABÓ, 1991.)

*C. Területgazdálkodási szempontok*

- térbeli elhelyezés (településfejlesztési koncepcióval való összhang),
- az elhelyezés ne zavarja a vízkészlet hasznosítását,
- ne érintsen üdülővezeteket, természetvédelmi- és tájvédelmi területet,
- földhasználat szempontjából lehetőleg értéktelen terület legyen,
- nagymennyiségű hulladék minél kisebb területen legyen elhelyezhető.

*D. Szociális közegészségügyi, politikai szempontok*

- településtől, lakott területtől megfelelően nagy távolságra kerüljön (védőtávolságok),
- a népsűrűség,
- az érintett lakosság fogadókészsége,
- politikai kivitelezhetőség.

A hulladékok veszélyességi potenciálját illetően a lakosság részéről gyakran irracionális félelmek alakulnak ki. A megfelelő tájékoztatás hiánya, sokszor félrevezető tevékenysége, a nem megfelelő együttműködés tájékoztatatlansághoz, így oktalan félelemhez majd tiltakozáshoz vezet. Ugyanakkor a háztartási hulladék veszélyességi potenciálját többé-kevésbé elfogadhatónak minősítik (pl. egy település - egy szeméttelep). Ez a kettős hozzáállás egyrészt a veszélyes hulladékok rendezett lerakására szolgáló telepek építését megakadályozó tiltakozásokban nyilvánul meg, másrészt elfogadhatatlan károkat okoz a veszélytelennek vélt háztartási hulladék szakszerűtlen lerakása miatt.

A mind nagyobb számban rendelkezésre álló vizsgálatok ugyanakkor egyre inkább kimutatják, hogy a háztartási- és a veszélyes hulladékokból kijutó csurgalékvizek összetétele lényegesen nem különbözik egymástól (BRANDL, 1989.). Ugyanakkor a lerakott v. lerakandó veszélyes hulladék összetétele, mennyisége, minősége ellenőrzött, így a keletkező csurgalékvíz várható összetétele - ami a szigetelőrendszer megválasztásánál az egyik alapvető szempont - ismert vagy becsülhető, szemben a kommunális hulladék és csurgalékvíz várható paramétereivel. Különösen igaz ez a megállapítás a monodepóniáknál.

Az érintett (vagy érintettnek vélt) lakosság fogadókészsége ma az egyik legkényesebb problémája a lerakóhely helykiválasztásának. A lakossági tiltakozások, tiltakozó mozgalmak és az élükre álló vagy azokat felvállaló csoportok, szervezetek, tömörülések stb. többnyire csak a kritikáig, a

tagadásig jutnak el, anélkül, hogy álláspontjukat szakmailag megalapozottan indokolnák, vagy alternatív megoldási javaslatot nyújtanának. Mindez csak hiteles szakmai tájékoztatással, objektív meggyőző munkával és a biztonságos üzemelés garantálásával ellensúlyozható, valamint bizonyítani kell, hogy a meglévő rendezetlen állapot sokkal nagyobb veszélyt jelent, mint a prognosztizálhatóan a legbiztonságosabb műszaki megoldás.

##### *E. Jogi helyzet*

Figyelembe veendők:

- a tulajdonviszonyok,
- az engedélyezésre, megvalósításra vonatkozó jogszabályok, szabványok, műszaki előírások.

##### *F. Természeti adottságok*

Figyelembe veendők:

- a topográfiai, morfológiai viszonyok,
- a meteorológiai jellemzők,
- a földtani adottságok,
- a hidrológiai jellemzők,
- a vízföldtani jellemzők,
- a geotechnikai adottságok,
- a földrengésveszély,
- az esetlegesen meglévő vagy várható alábányászottság.

A következőkben az A-F pontban felsorolt szempontok közül a lerakó hely kiválasztása szempontjából az egyik legfontosabb és legkritikusabb elem a természeti adottság értékelését, figyelembevételét tekintjük át. A természeti adottságokkal szemben támasztott követelmények megléte vagy hiánya - hasonlóan a jogi szabályozáshoz - vagy lehetővé teszi vagy kizárja, hogy egy adott területen az adottságoknak megfelelő vagy meg nem felelő veszélyességi potenciálú hulladéklerakó létesüljön.

#### **4.2. A természeti adottságok értékelésének általános szempontjai**

Magyarországon az évente keletkező kb. 20-22 millió m<sup>3</sup> települési szilárd hulladék döntő többsége hulladéklerakóhelyekre kerül, az esetek jelentős részében a folyékony kommunális hulladékokkal (csatornaiszap, szennyvíziszap) közös depóniákba. Emellett - elsősorban az ipari tevékenységhez kapcsolódóan - nagymennyiségű, a környezetre különösen veszélyes toxikus és radioaktív hulladék is keletkezik, ezek kezelését azonban a kommunális hulladék-lerakóhelyektől független, országos rendszerben létrehozott, üzemeltetett és ellenőrzött lerakóhelyeken kell megoldani.

A hulladéklerakóhelyeken keletkező környezetszennyezés minimalizálása érdekében nagy jelentősége van a szakszerű hulladéklerakóhely kijelölési és üzemeltetési módszerek minél szélesebb körű alkalmazásának. Jelenleg hazánkban az üzemelő hulladéklerakóhelyek többsége környezetföldtani szempontból alkalmatlan helyen, szakszerűtlen lerakási technológiával üzemel. Az ilyen lerakóhelyeken fokozott mértékben kell számolni a levegő, a talaj, valamint a felszíni és felszín alatti vízszennyezéssel (HORVÁTH, 1985a.).

A hulladéklerakóhelyek felszín alatti környezetszennyezése rendkívül széles határok között változik mind a komponensek, mind a koncentráció tekintetében és egyrészt függ a lerakott

hulladékok összetételétől (szerves, szervesetlen), a vízdoldható részek vegyi összetételétől, a depónia korától, másrészt pedig függ attól, hogy milyen lehetősége van a környezetszennyezést szállító közegnek, tehát a víznek, beszivárogni a felszín alá. Ez utóbbit elsősorban a hulladéklerakóhely környezetföldtani viszonyai és a hulladék lerakásának módja befolyásolja.

A hulladéklerakóhelyről a felszín alatti környezetbe jutó szennyezések szállító közege elsősorban a víz. Ennek négy megjelenési formájával találkozunk a hulladéklerakóhelyeken, illetve azok körzetében. Ezek:

- a hulladék nedvességtartalma,
- a szerves hulladék bomlásakor keletkező víz,
- a csapadékvíz,
- a felszín alatti víz.

A szilárd hulladékok nedvességtartalma az évszakoktól függően változik. A hazai vizsgálatok az éves átlagértéket a lerakott szilárd hulladék tömegének 50%-ban adják meg (HALMOSNÉ BÁTHORY K., 1980.). DOBSON (APGAR, 1976.) szerint aerob bomlás esetén a 40-80%-os víztartalom a legkedvezőbb az egysejtűek szaporodásához. A szerves anyagok legnagyobb lebomlási arányát 60% nedvességtartalom mellett figyelte meg.

A lerakott szilárd hulladék természetes nedvességtartalma a szerves hulladékok lebomlása során tovább nő, együttes mennyiségük azonban legtöbbször kevés ahhoz, hogy csurgalékvizet képezzenek a hulladékdepónia alján. Ennek oka egyrészt abban keresendő, hogy a lerakott szilárd hulladék tömegének 24-26%-a a papír, ami nagy mennyiségű nedvességet képes felszívni, másrészt, elsősorban a termofil baktériumok hatására, a hulladékprizmán belül a hőmérséklet rövid időn belül a 60-80°C-t is eléri. Ilyen hőmérsékleten a nedvességtartalom nagy része elpárolog.

A hulladék kilúgozásában igen jelentős szerep jut a *csurgalékvíznek*. Hatását jelentősen csökkenteni tudjuk a hulladék időszakos takarásával, majd a tervezett magasság elérése után a lerakó megfelelő lezárásával. Mindamellet a normál üzemmenet mellett, a depónia építése során nem tudjuk megakadályozni - nem beszélve a nem megfelelően kialakított, lezárással nem rendelkező lerakókról - hogy a csapadékvíz a hulladékon átjutva a depónia alján *csurgalékvíz*ként megjelenjen.

Az előzőekben említett kérdéseket részletesen ismerteti a *hulladéklerakók vízháztartásával* foglalkozó **7.3. fejezet**, amelyben megismerkedhetünk a különböző folyamatok során keletkező csurgalékvizek várható mennyiségének a meghatározásával, valamint a hulladéktípusokra jellemző csurgalékvíz összetétellel.

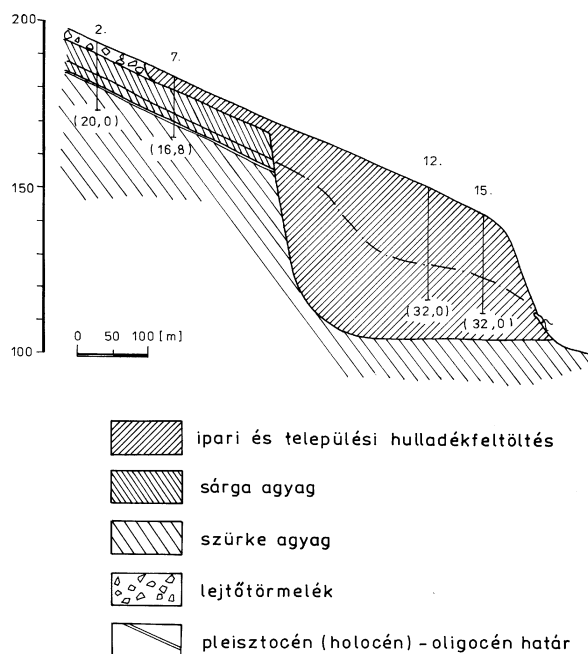
A hulladékdepóniák kilúgozásában legnagyobb szerep a felszín alatti víznek jut. Különösen *akkor következik be erős kilúgozás, ha a hulladék folyamatosan a felszín alatti vízszint alatt helyezkedik el*, tehát a hulladék időszakosan vagy állandóan vízben van. Jól szemlélteti ezt, ha megvizsgáljuk az óbudai Újlaki téglagyár felhagyott agyagbányájában elhelyezett ipari és települési hulladék környezetszennyezését, összehasonlítva azt a váci városi hulladéklerakóhely okozta szennyezéssel. (HORVÁTH, 1985.). A földtani adottságok kedvezőbbek az óbudai lerakónál, hiszen a bányagödör a középső oligocén kiscelli és tardi agyag bányászata után maradt vissza, így sok helyen a 30 m-t is meghaladó települési hulladék jó vízzáró földtani képződményre került (**4.2. ábra**). A váci városi hulladéklerakóhely a pleisztocén utolsó



eljegesedési szakaszában - a würm glaciálisban - képződött II/a teraszon helyezkedik el, amit igen jó vízvezető homokos kavics és homok képződmények építenek fel (4.3. ábra). A talajvíz az oligocén vízzáró fekü felett a pleisztocén és újholocén üledékekben helyezkedik el. A vízjárás adatok alapján megállapítható, hogy a depóniát a talajvíz csak a legkeletibb részén éri el, egyébként a hulladék állandóan a talajvízszint felett van. A lerakóhelyre megszüntetéséig (1981) a város és a környező települések hulladékai (háztartási hulladék, szippantott szennyvíz, szennyvíziszap) mellett ipari hulladékok is kerültek. A szennyvíz és szennyvíziszap "tószerű" deponálása következtében a pleisztocén kavicsösszlet folyamatos szennyezése a csapadékviszonyoktól függetlenül is "biztosított" volt. Ha összehasonlítjuk a két hulladékdepónia kilúgozási adatait (4.1. táblázat), a kedvezőtlenebb eredményeket az óbuda-i lerakóhely mutatja. Itt ugyanis az agyagbányászat megszűnte után abbamaradt a víztelenítés, és a mögöttes hegyoldal lejtőtörmelékében, valamint a pleisztocénben átmozgatott felszínközeli rétegekben lévő talajvíz elárasztotta a lerakott hulladékot, aminek következtében a hulladék egy része állandóan a talajvízszint alatt van. Emiatt a csapadékvíz mellett a talajvíz is részt vesz a hulladék kilúgozásában.

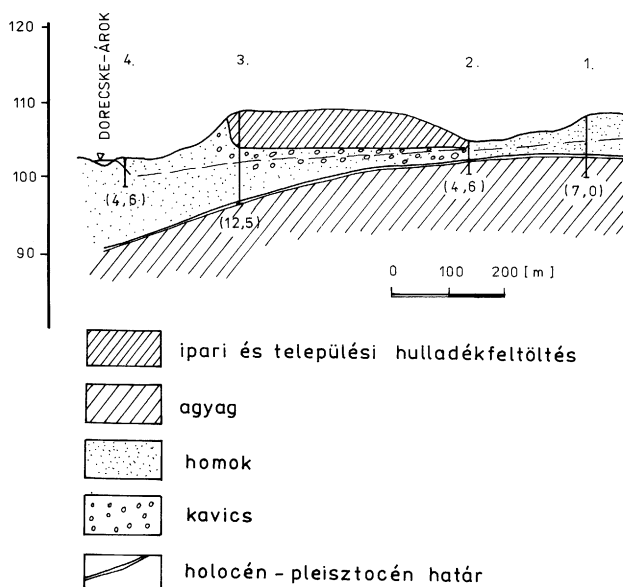
Alapvető hulladéklerakóhely kijelölési szempont, hogy a *depónia alja mindig a talajvízszint felett helyezkedjen el*. Ha ez nem áll rendelkezésre, akkor szükség esetén mesterséges úton, pl. az aljzat megemelésével kell biztosítani a maximális talajvízszint vagy talajvíz-nyomásszint feletti megkívánt minimális távolságot.

Sajnos hazai viszonyok között nagyon gyakori, hogy a hulladéklerakóhelyként az egykori agyagbánya, vagy kubik gödröket "hasznosítják", miáltal a hulladék folyamatos kilúgozása biztosított.



4.2. ábra

Az Óbuda-Újlaki Téglagyár agyaggödérében levő hulladéklerakóhely vízföldtani szelvénye (HORVÁTH, 1985. a)

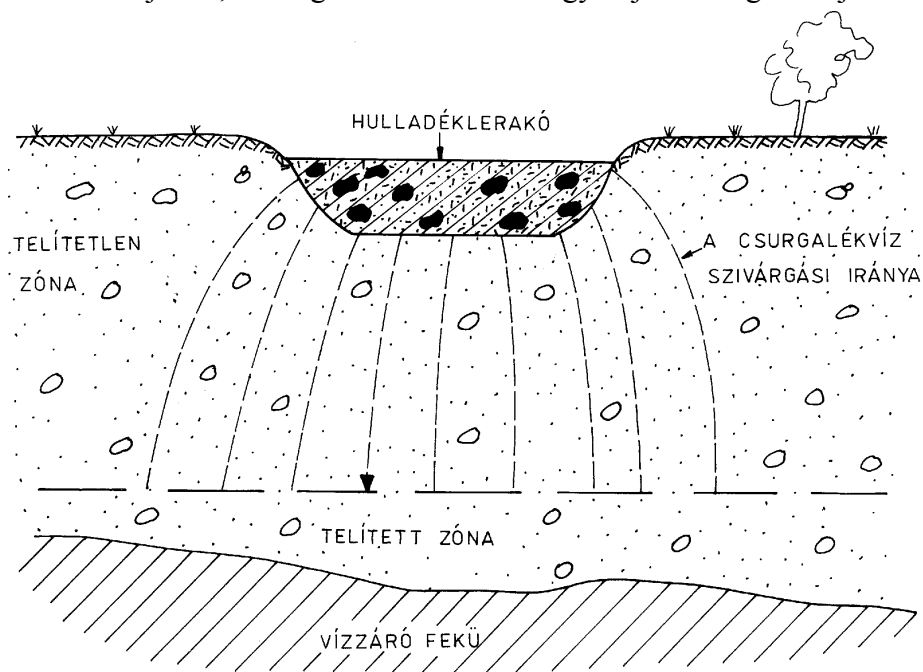


**4.3. ábra**  
A váci hulladéklerakóhely vízföldtani szelvénye  
(HORVÁTH, 1985. a.)

**4.1. táblázat**

| Az óbudai és váci hulladékdeponiák kilúgozásának összehasonlító adatai (HORVÁTH, 1985.a) |                    |             |                    |              |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------|
| Vizsgált jellemző                                                                        | Váci               |             | Óbudai (Újlaki b.) |              |
|                                                                                          | hulladéklerakóhely |             |                    |              |
|                                                                                          | 2.sz. fúrás        | 3.sz. fúrás | 12.sz. fúrás       | 15.sz. fúrás |
| pH                                                                                       | 7,1                | 7,0         | 7,3                | 7,5          |
| Bepárlási maradék (mg/l)                                                                 | 731,0              | 1 330,5     | 8 842,8            | 7 804,0      |
| Összes keménység (nkf)                                                                   | 35,2               | 45,8        | 122,5              | 201,3        |
| Karb. keménység (nkf)                                                                    | 24,2               | 19,5        | 122,7              | 158,8        |
| Állandó keménység (nkf)                                                                  | 11,0               | 26,3        | szikes             | 42,5         |
| KOI (mg/l)                                                                               | 2,4                | 3,9         | 85,1               | 87,4         |
| Kötött CO <sub>2</sub> (mg/l)                                                            | 190,3              | 153,1       | 1 718,4            | 1 247,6      |
| Na <sup>+</sup> (mg/l)                                                                   | 69,7               | 116,6       | 2 157              | 1 300        |
| Ca <sup>2+</sup> (mg/l)                                                                  | 162,7              | 223,9       | 168                | 82           |
| Mg <sup>2+</sup> (mg/l)                                                                  | 54,2               | 63,1        | 430                | 825          |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)                                                      | 0,3                | -           | 529,5              | 317,7        |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)                                                      | -                  | 48,2        | -                  | -            |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)                                                      | -                  | -           | -                  | -            |
| Cl <sup>-</sup> (mg/l)                                                                   | 100,0              | 167,0       | 2 960              | 2 010        |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)                                                     | 527,7              | 424,6       | 4 765              | 3 459        |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)                                                     | -                  | -           | -                  | -            |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)                                                     | 198,8              | 416,9       | 255                | 1 567        |
| Összes élő bakt. szám/cm <sup>3</sup> 20°C-on                                            | 900                | 7 000       | 42 000             | 50 000       |
| Összes élő bakt. szám/cm <sup>3</sup> 37°C-on                                            | 2 400              | 7 600       | 11 600             | 50 000       |
| Fekál coliszám/cm <sup>3</sup>                                                           | 0                  | 0           | 500                | 0            |
| Pseudomonas/cm <sup>3</sup>                                                              | 0                  | 200         | 800                | 0            |
| Salmonella/cm <sup>3</sup>                                                               | 0                  | 0           | 0                  | 0            |
| Coliform szám/cm <sup>3</sup>                                                            | 20                 | 0           | 3 300              | 0            |

A depóniaaljazat és a talajvíz szintje közötti ún. *telítetlen zóna* (4.4. ábra) szerepe igen fontos, s ezért kívánatos, hogy ha lehetőség van rá, ennek a vastagsága minél nagyobb legyen. Általában soha nem zárhatjuk ki annak a lehetőségét, hogy egy lerakóból a szennyezett csurgalékvíz - mégha korlátozott mennyiségben is - de kijusson. A telítetlen zóna kedvező tulajdonságainál (szűrés, adszorpció, kemisorpció, ioncsere) fogva nagyban elősegíti, hogy mielőtt még a szennyezés elérné a talajvizet, a csurgalékvíz részben vagy teljesen megtisztuljon.



4.4. ábra

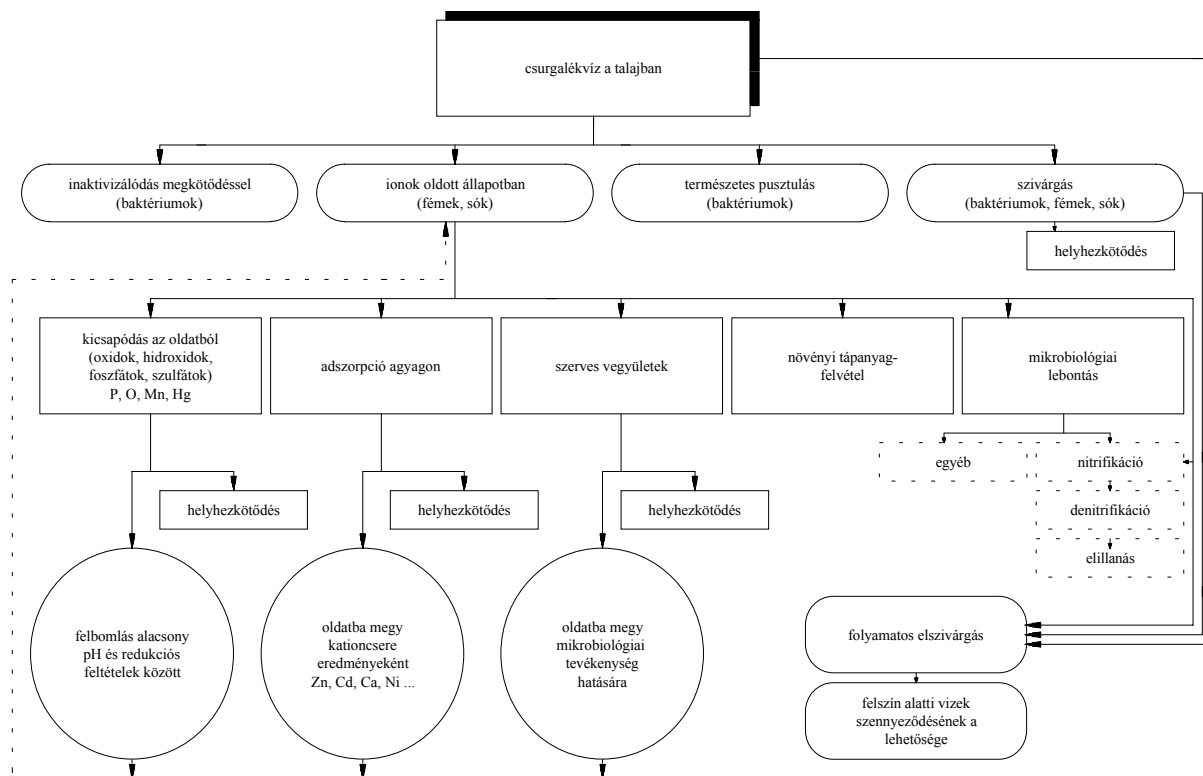
Hulladéklerakóhely felszín alatti környezetszennyezésének elvi vázlata (HORVÁTH, 1985. b)

A talajba bejutó, vegyileg és bakteriologailag szennyezett csurgalékvíz minőségének a telítetlen zónában bekövetkező változását a 4.5. ábra szemlélteti MAKEING (1976) vizsgálatai alapján. Kétségtelen, hogy a csurgalékvíz és az altalaj között, egymással kapcsolatba kerülve, kölcsönhatás lép fel. Ezen kölcsönhatás lehet kedvező, mint azt a fentiekben láttuk, de lehet kedvezőtlen is, amikor az altalaj szerkezete, fizikai tulajdonságai megváltozhatnak, ami többek között a korábban meglévő vízzárásnak a megváltozását is eredményezheti. Ezen kérdésekkel a könyv geotechnikai vizsgálatok fejezete foglalkozik részletesen.

A lerakó alatti telítetlen zónában lejátszódó folyamatok végbemenetelét nagymértékben befolyásolja a *rétegen belüli tartózkodási idő*, ami függ a *telítetlen zóna vastagságától* és *áteresztőképességétől*. A tartózkodási idő nagyságának a vízminőségváltozásra gyakorolt hatását jól szemlélteti a 4.6. ábra.

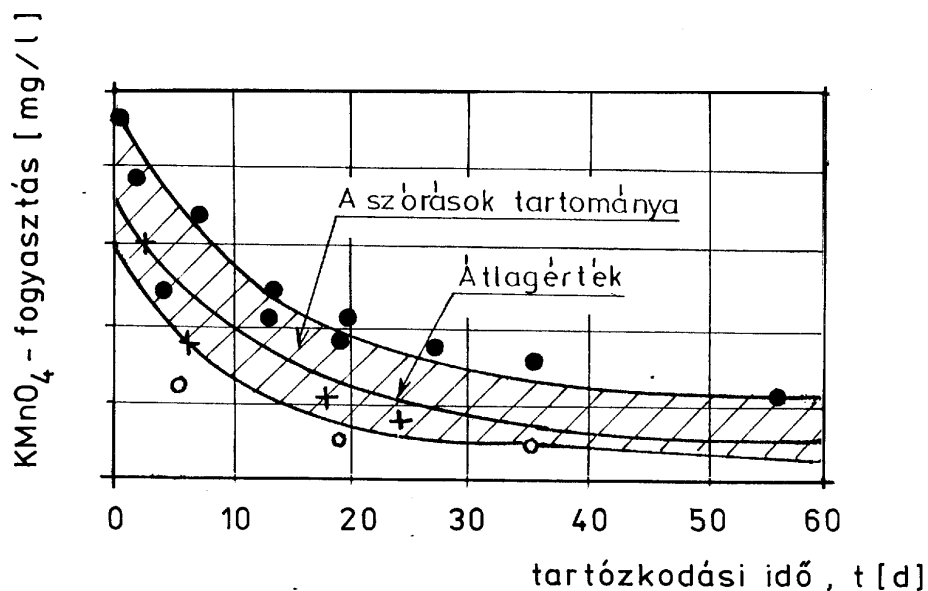
A hulladéklerakó alatti altalajtól általában egy bizonyos *vízzáróságot* minden esetben megkívánunk, amit a *szivárgási tényezővel* (l. 5.4.3. fejezet) szoktunk jellemezni. Az altalaj szivárgási tényezőjének a megkívánt értéke országonként igen eltérő és értéke függ:

- a lerakandó hulladék veszélyeztető potenciáljától és
- az építendő lerakó műszaki megoldásától.



4.5. ábra

A telítetlen zónában szivárgó csurgalékvíz minőségváltozásának folyamatábrája (MAKEING, 1976.)



4.6. ábra

A nyersvíz  $\text{KMnO}_4$ -fogyasztásának változása a tartózkodási idő függvényében (három finnországi dúsítóműnél) (RÖNKA - HATVA - JIKKOLA, 1977.)

Általában megállapítható, hogy a szivárgási tényező ( $k$ ) megkívánt értéke az általajnál  $10^{-8} < k < 10^{-7}$  m/s határok között változik, hangsúlyozva azonban, hogy ezen általajra minden esetben még egy további *épített szigetelőrendszer is kerül*. A fentiekől szigorúbb feltételt előírni nem célszerű, mert ezzel nagyon leszűkítjük a lerakó számára számításba jöhető potenciális területek számát. Kétségtelen, hogy a legolcsóbb megoldás a természeti adottságok maximális figyelembe vétele mellett adódik, azonban önmagában ez nem elégséges feltétel. Ugyancsak figyelembe kell venni, hogy egy több tíz hektárnyi területen (ami pl. egy nagyvárosi, vagy egy térségi kommunálshulladék - lerakó területigénye) nem várható, de nem is valószínű, hogy az általaj mindenhol kellően vízzáró és homogén.

A hulladéklerakóhelyek kijelölésének egyik legvitatottabb kérdése az, hogy milyen rétegvastagság biztosít védelmet a beszivárgó szennyezéssel szemben. Elvileg helytelenek azok a megoldások, amelyek valamekkora, előre meghatározott telítetlen zóna vastagságot írnak elő, mivel a "védőréteg" vagy szigetelőréteg vastagság mind a közettől, mind a vizsgált elemtől is függ. Ennek bizonyítására elegendő utalni GRIFFIN és szerzőtársai (1977.) vizsgálataira, akik csurgalékvizet szivárogtattak át ismert homok-agyagásvány összetételű vizsgálóoszlopokon és meghatározták a csurgalékvízben az egyes vizsgált ionok koncentrációját a mintákon való átszivárogtatás előtt és után. Így minden ionra meghatározható volt egy "adszorpciós szám" (4.2. táblázat). Mint a táblázatból látszik az *egyed ionok mobilitása* merőben eltér egymástól.

4.2. táblázat

| <i>A különböző ionokra kapott adszorpciós szám értéke<br/>(GRIFFIN et al., 1977.)</i> |          |                              |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------|----------|
| <b>Ion</b>                                                                            | <b>%</b> | <b>Ion</b>                   | <b>%</b> |
| Pb <sup>2+</sup>                                                                      | 99,6     | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | 37,1     |
| Zn <sup>2+</sup>                                                                      | 97,2     | Mg <sup>2+</sup>             | 29,3     |
| Cd <sup>2+</sup>                                                                      | 97,0     | Na <sup>+</sup>              | 15,4     |
| Hg <sup>2+</sup>                                                                      | 96,8     | Cl <sup>-</sup>              | 10,7     |
| Fe <sup>3+</sup>                                                                      | 58,4     | B <sup>3-</sup>              | - 11,8   |
| Si <sup>4+</sup>                                                                      | 54,7     | Mn <sup>2+</sup>             | - 95,4   |
| K <sup>+</sup>                                                                        | 38,2     | Ca <sup>2+</sup>             | - 656,4  |

A természetben a laboratóriuminál lényegesen összetettebb viszonyok fordulnak elő, amiből következik, hogy a felszín alatti víz védelméhez szükséges telítetlen zóna vastagságot csak a szennyezőanyag és a természeti adottságok együttes ismerete alapján lehet az adott vizsgálati helyre vonatkozóan konkrétan meghatározni.

Különösen igaz ez akkor, ha az előírásokban, rendeletekben többnyire mégis megjelenő, a természetes védelem vastagságára vonatkozó számszerű értéknél a tényleges rétegvastagság kisebb. Ilyenkor általában megengedett a hiányzó rétegvastagság pótlása, természetes anyagú és *egyenértékű réteggel*. Itt a hangsúly az egyenértékűsége van, amit a szennyezőanyag terjedés számításánál ismertető módszerekkel határozhatunk meg.

A kommunális hulladék - lerakóhelyek kijelölésénél vannak olyan tapasztalatok (pl. Angliában), amelyek azt mutatják, hogy bátrabban vehetjük igénybe azokat a tektonikusan kiemelt helyzetben lévő, talajvizet nem, vagy csak nagy mélységben tározó "száraz" homok, ill. kavicsos homok területeket, ahol legalább kismennyiségű iszap és agyagfrakció is található (HORVÁTH, 1985a.). Ilyen földtani képződményekre történő lerakással a műszaki és biológiai módszerekkel minimumra korlátozott csurgalékvíz mennyiség hatására a kezdeti "k" tényező értéke kedvező agyagásványtartalmú altalaj esetén csökkenhet, sőt a beszivárgó csurgalékvízben lévő szennyező anyagok koncentrációja is nagymértékben csökkenhet, mielőtt eléri a felszín alatti vizet. Az ilyen, viszonylag nagyobb kockázatot vállaló lerakási módot elsősorban csak kevésbé veszélyes hulladékoknál, egy igen részletes laboratóriumi kísérleti munka után szabad megengedni. A magyarországi földtani viszonyok ismeretében kicsi a valószínűsége annak, hogy ez a lerakási mód megengedhető legyen.

Ugyanakkor vannak olyan vízföldtani egységek, amelyek vízkészlete szigorú védelmet kell, hogy élvezzen minden külső környezetszennyezéssel szemben. Ezek közül legérzékenyebbek a *nyílt karszterületek*, amelyek a töréses, repedéses zónák mentén, a kolloidok hiánya miatt, szinte teljesen védtelenek a szennyeződésekkel szemben. *Ezekre a területekre hulladéklerakóhelyeket kijelölni szigorúan tilos.*

A nyílt karszterületeknél a fentiekben leírtak miatt jobban ellenállnak a környezetszennyezésnek a folyami teraszok és a hegylábi lejtőtörmelékek homokos kavics rétegei, amelyek veszélyeztetettsége azonban a felszíni vizek fokozatosan növekvő szennyezettsége miatt állandóan növekszik. Ehhez járul még a korábban ezekre az üledékekre telepített nagyszámú ipari és kommunális hulladéklerakóhely, valamint a mezőgazdaság nagyarányú kemizálásának és a településeknek a szennyező hatása is. Elegendő utalni a már korábban említett, az országban eddig feltárt legnagyobb méretű, elsősorban ipari hulladék által okozott váci környezetszennyezésre, amely éppen a város vízellátásában meghatározó szerepet játszó partiszűrős vízkészleteket tározó homokos kavics réteget érintette és amelynek eredményeként a váci Déli Vízművet ki kellett kapcsolni a város vízellátási rendszeréből. A kárelhárítási munkálatok nagyságát jól jellemzi, hogy ezek sorában 54 ezer m<sup>3</sup> szennyezett talaj kicserélésére került sor. Ennek ellenére az elszennyeződött vízmű jelenleg sem üzemel. Az elmúlt években a homokos kavics területek felszínközeli vizeire telepített vízművek és vízbázisok közül - a vácin kívül - több is kritikus helyzetbe került (pl. Szekszárd, Ócsa). A Kisalföldön a nitrátosodás már 100 méterre a felszín alatt is megjelent és egyre nagyobb méreteket ölt (JUHÁSZ, 1994.), ami felhívja a figyelmet ezeknek a vízellátás szempontjából fontos rétegeknek a fokozottabb védelmére.

Ezek sorába kell, hogy tartozzon a vízművek és vízbázisok belső és külső védőterületein a még meglévő hulladéklerakóhelyek felszámolása.

A természeti adottságok között a tárgyalt földtani és vízföldtani viszonyok a területkiválasztás során meghatározó jelentőségűek, azonban a 4.1. fejezet F pontjában felsorolt tényezők közül a *depónia típusának* megválasztását befolyásoló *morfológiai jellemzőket* és a *depónia műszaki kialakítását* meghatározó *geotechnikai jellemzőket* egy későbbi fejezet mutatja be részletesen. A többi jellemzőt a területkiválasztás földtani követelményrendszerének meghatározása során tárgyaljuk.

### 4.3. A hulladéklerakók hely kiválasztásának környezetföldtani követelményrendszere

A környezetföldtani követelmények meghatározásának alapvető feltétele, hogy a *természeti környezet és a mesterséges védelem együtt* adja a szükséges feltételeket az adott hulladék elhelyezésére (l. 4.1. ábra). Szélső esetben az is elképzelhető, hogy valahol csak mesterséges korlátok biztosítják a szükséges védelmet. Ilyen többnyire a hulladék keletkezési helye. A gyakorlatban azonban a végleges lerakóhelyeknél megkövetelünk egy olyan minimális természetes védelmet, ami egyrészt megnyugtató a környező lakosságra, másrészt védelmet nyújt olyan előre nem látható esetekben, amikor a mesterséges korlátok lebomlanak. Ez utóbbi esetben a természetes védelemnek elegendőnek kell lenni arra, hogy a tönkrement mesterséges védelmet helyreállítsák anélkül, hogy közben a környezet károsodna. Annál is inkább szükség van a mindenkori természetes védelemre, mert a ma biztonságosnak ismert műszaki megoldásoknál még nagyon kevés információval rendelkezünk azok tényleges időállóságára vonatkozóan.

A földtani környezet és a mesterséges védelem kialakításának van egy gazdasági optimuma is. Ezt a helykijelölésnél feltétlenül figyelembe kell venni. A hulladék elhelyezés közérdek. A hulladék keletkezési helye adott, éppúgy mint az elhelyezésre rendelkezésre álló földtani környezet. Ez gyakran megoldhatatlan konfliktust okoz, mert az elhelyezésre alkalmas terület lakossága idegenkedik a máshol keletkezett hulladék elhelyezésétől. Ezért a jövőben megfontolandó, hogy a regionális jellegű hulladék elhelyezésénél a földtani környezetnek a következőkben javasolt minimuma mellett inkább a mesterséges korlátok hatásának növelésével, de a keletkezés környezetében helyezhessük el a hulladékot. Ilyen jellegű megoldások ismertek pl. az USA-ban, ahol kétrétegű, természetes anyagú tömörített szigetelőréteg és műszaki szigetelés kombinációja esetén a hidrogeológiai oldalról semminemű követelményt nem állítanak. Az ilyen jellegű megoldások viszont pl. Németországban, Ausztriában, - de hazánkban is - okkal elutasításra találtak. (KEMMERLING - MOSTBAUER, 1986.).

A földtani környezet megkívánt minimális védelmi feltételeinek meghatározásához JUHÁSZ (1989.) a földtani környezetre gyakorolt hatás alapján javasolja a hulladékok csoportosítását.

A javaslat számos előremutató gondolatot tartalmaz, alkalmazásánál azonban gondot okoz, hogy az általa használt kategorizálás nem felel meg a hazai gyakorlatnak.

JUHÁSZ (1989.) a minimális környezetföldtani követelmények mellett az általa megfogalmazott kategóriákra meghatározza a *geohidrológiai környezettel szembeni követelményeket* is. A geohidrológiai viszonyokat a lerakóhelyen, ill. közelebbi és távolabbi környezetében kell vizsgálni. Meg kell állapítani a természetes és a hulladéklerakóhely által megváltoztatott állapotban a vízkörforgást.

A *nem veszélyes hulladék* esetén a természetes és a hulladéklerakóhely megvalósítása utáni vízkörforgalom vizsgálatának igazolni kell, hogy a hulladéklerakóhely nincsen erős áramlással terhelt területen (pl. folyóvíz teraszon, hordalékkúpon), a vízforgalom elsősorban kismélységű, azaz a talajvízig hat le és nem, vagy alig érinti a rétegvizeket.

A *veszélyes hulladék* elhelyezésénél a geohidrológiai viszonyoknak a lerakóhely közvetlen környezetében önállóan kell lenni. Az ilyen területek elsősorban a vízválasztókon vagy nagyvastagságú (több tíz méteres) agyagréteggel regionálisan borított, mély talajvízű területeken találhatóak.

A települési szilárd hulladékokkal összefüggő tevékenységet az 11/1986 (I.23.) ÉVM- EÜM sz. együttes rendelet szabályozza. A környezetföldtani követelményekre valójában csak közvetett úton tesz utalást a 10.§ (1) és 14.§ (2) pontokban:

**10.§ (1):** Települési szilárd hulladékot kizárólag a tanácsi (ma: önkormányzati) szakigazgatási szerv által, a területi adottságok figyelembevételével e célra kijelölt, lehetőleg több települést (körzetet) kiszolgáló - a közegészségügyi, a vízügyi, a környezetvédelmi, az építésügyi és közlekedési hatósági előírásoknak megfelelően kialakított és üzemeltetett - lerakóhelyen (telepen), illetőleg létesítményben szabad elhelyezni és ártalmatlanítani.

**14.§ (2):** Olyan szennyező forrást, amely az ivóvizet szolgáltató kút, illetőleg forrás vizét közvetlenül vagy talajon keresztül szennyezheti, a közegészségügyi, a vízügyi és az építésügyi hatósági előírásokban meghatározott távolságon (védőtávolságon, védőterületen) belül nem szabad létesíteni és fenntartani.

1996-ban jelent meg a már említett 102/1996. (VII.12.) Korm. rendelet a veszélyes hulladékokról. A rendelet 10. A. melléklete szabályozza a veszélyes hulladékok gyűjtését, tárolását és a lerakással történő ártalmatlanítását. Ezen melléklet 2. függeléke adja meg a veszélyeshulladék lerakótelep hely kiválasztásánál figyelembe veendő szempontokat.

*a) Lerakótelep nem létesíthető*

- erősen erózióveszélyes domboldalon,
- felszíni mozgásveszélyes területen,
- karsztos vagy karsztosodásra hajlamos-, vagy olyan helyen, ahonnan szennyeződés juthat a karsztba,
- erősen tört szerkezetű, tagolt kőzetösszleten,
- olyan földrengésveszélyes területen, ahol a várható földrengés maximális erőssége VI. a Mercalli-Cancani-Sieberg skálán,
- működő vagy felhagyott mélyművelésű bánya felszakadási területén belül, ha a mozgások még nem konszolidálódtak, ill. művelésre kerülő terület fölött,
- meglévő vízmű, potenciális vízbázis területén, gyógyvíztermelő kút, gyógyforrás, kiemelt vízmű védelmi területek esetén a hatásterületre korlátozott védőidomon; a hatásterületen kívül, de a hidrogeológiai védőterületen belül csak egyedi hatásvizsgálat alapján kerülhet lerakó, amikor is a mértékadó elérési idő 100 év,
- árvíz-, belvízveszélyes, ill. ármentesítéssel nem rendelkező területen,
- magas talajvízállású területen. A lerakó szigetelőrendszerének fenékszintje alatt a max. talajvízszint, ill. annak nyomásszintje legalább 1,0 m-re legyen. A maximális talajvízszintet a területen végzett mérések alapján kell meghatározni, illetve ha mért adatok erre vonatkozóan nem állnak rendelkezésre, akkor meghatározandó a mértékadó talajvízszint.
- kiemelten védett levegőtisztaságú területen,
- természetvédelmi területen,
- olyan területen, ahol a lerakóhely határa természetvédelmi terület, érzékeny természeti terület, zöldfolyosó rendszerhez tartozó területet érint,
- olyan területen, ahol a lerakóhely termőföld minőségét, illetve a mezőgazdasági művelést, vagy a rajta termelt növények minőségét veszélyezteti,
- erdőművelési ágú területen.



##### *b) A lerakó területén meglévő altalajjal szembeni követelmények*

- földtani kutatással kell megalapozni a számításba vett terület geológiai alkalmasságát,
- a lerakó nagy adszorpciós kapacitású altalaja legalább 3,0 m vastag legyen. A természetes településű altalajoknál az agyagásványtartalom érje el legalább a 10%-ot.
- ha az előző pontban ismertetett minőségű természetes településű altalaj nem áll rendelkezésre, akkor - vizsgálatokkal alátámasztva - azzal egyenértékű természetes anyagú épített réteg is megfelel. Az egyenértékűség feltétele: az épített természetes anyagú szigetelő-rétegen a 30 év alatt átjutó csurgalékvíz komponenseinek koncentrációja nem lehet nagyobb, mint az egyébként szükséges 3,0 m vastag természetes településű réteg esetén.
- a természetes vagy épített altalaj vízre vonatkozó szivárgási tényezőjét laboratóriumi és helyszíni vizsgálatokkal kell meghatározni, amelynek megkívánt értéke:  $k \leq 5 \times 10^{-8}$  m/s.

A szivárgási tényező meghatározásához használandó módszer:

- laboratóriumban: változó víznyomás mellett, triaxiális cellában ( $i \leq 30$ ),
- helyszínen: csőinfiltróméter ( $\varnothing \geq 100$  mm) alkalmazásával.

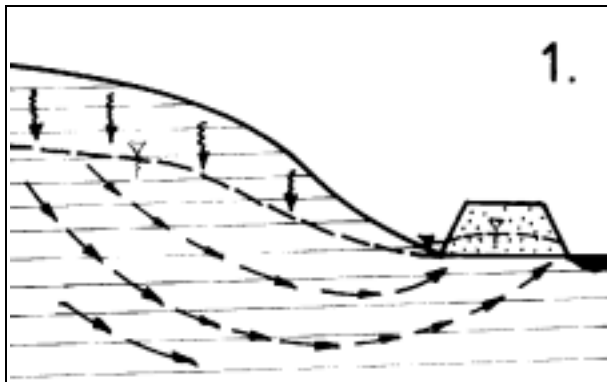
Az új rendelet előírásai megfelelnek a mai európai elvárásoknak. Bizonyos vonatkozásokban mégis úgy tűnik mintha engedményeket tenne. Ilyen pl. hogy megengedi a lerakó létesítését a vízművek hatásterületén kívül, de a hidrogeológiai védőidomon belül, de - s ez igen lényeges - egyedi hatásvizsgálathoz és *legalább  $t = 100$  év elérési időhöz köti a lehetőséget.*

Ugyancsak - látszatra - engedékenyebb az altalajjal szembeni követelményeknél, mint a korábbi rendelet ( $k \leq 5 \times 10^{-8}$  m/s), ugyanakkor azonban előírja a vízzáróság meghatározásának a módját is. Mindkét "engedmény" alap gondolata, mint már láttuk korábban az, hogy nem szabad az általában kedvező természeti adottságú potenciális területek számát irreális követelményekkel csökkenteni, hanem a biztonságos lerakót megfelelő műszaki követelményekkel együtt kell megvalósítani. Ezt ösztönzi a rendelet-tervezet. (A megkívánt aljzatszigetelő rendszer felépítését a **6.68. ábra** szemlélteti).

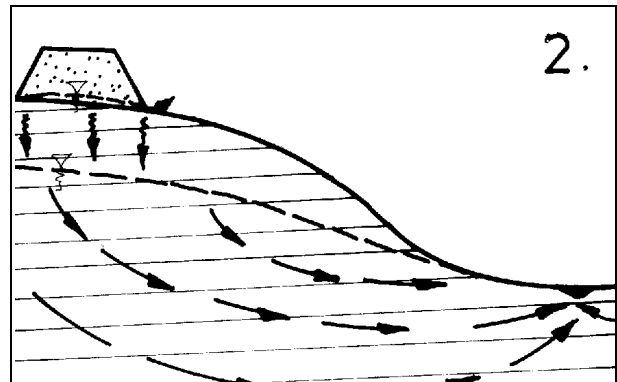
Ugyancsak előremutató a rendeletben az, hogy *mindenképpen megkíván egy bizonyos vastagságú (3,0 m) és minőségű (nagy adszorpciós kapacitás, agyagásványtartalom > 10%) altalajt, s hiánya esetén azzal egyenértékű, de ugyancsak természetes (szokás nevezni még ásványi) anyagú épített réteggel való pótlást ír elő.*

Általában problémát okoz, hogy kell-e, ill. szabad-e különbséget tenni a kommunális - és veszélyeshulladék-lerakók estén a területtel szemben támasztott követelmények, igények tekintetében. Alapelveként megfogalmazhatjuk, hogy *nem célszerű lényeges különbséget tenni a minimálisan megkívánt természeti adottságok terén*, mert a környezetre leginkább veszélyt jelentő csurgalékvizek összetételében nincs lényeges különbség (v.ö. 7.7-7.10. táblázatokat). Egy minimális természetes védelmet minden hulladékfajta lerakójának a területétől, altalajától meg kell kívánni, és a *veszélyezett potenciálbeli különbséget a műszaki megoldás (védelem) terén* kell kiegyenlíteni.

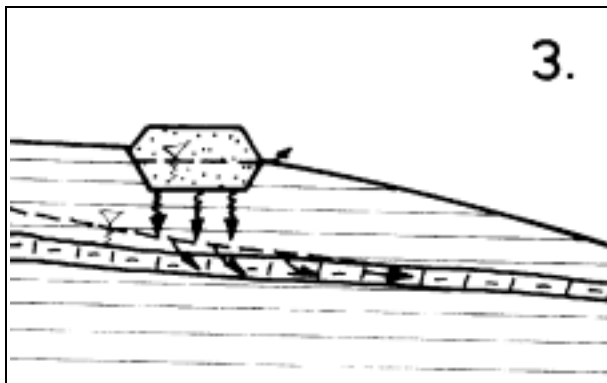
A különböző hulladékfajták lerakására alkalmas területek kiválasztásánál jó segítséget nyújthat a **4.7. ábra** és a **4.3. táblázat**. A 4.7. ábrán különböző földtani és vízföldtani adottságokkal rendelkező típusterületek találhatók, amelyekhez a megengedhető hulladéklerakó fajtát a 4.3. táblázat rendeli hozzá (DRESCHER, 1987.) javaslat alapján.



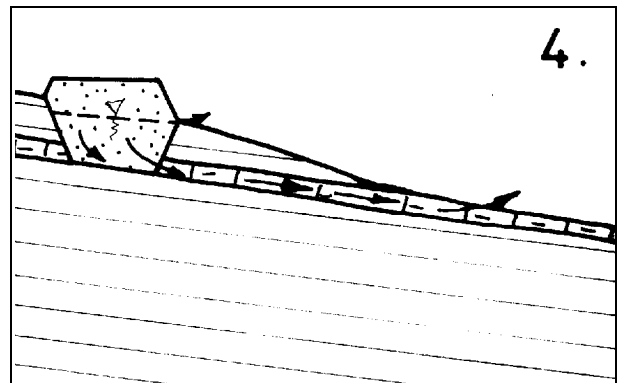
Felszálló áramlás gyengén vízvezető összletben



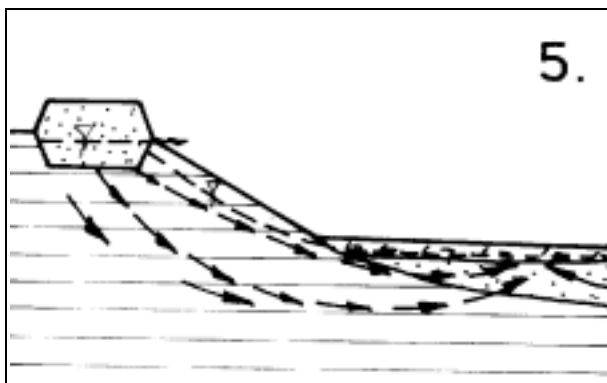
Leszálló áramlás gyengén vízvezető összletben



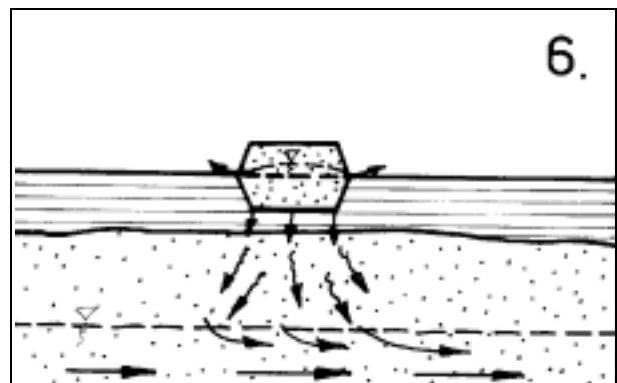
Vízvezető közbetelepülés gyengén vízvezető összletben



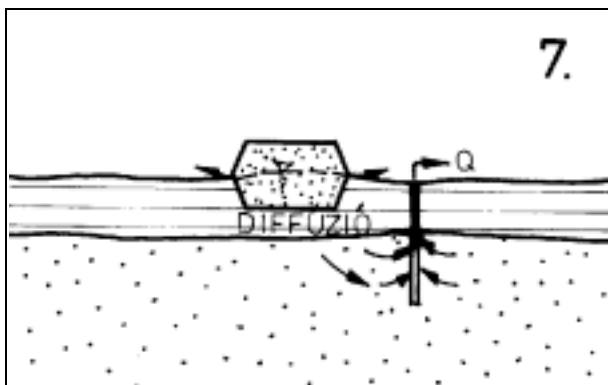
Felszínre jutó vízvezető réteg gyengén vízvezető összletben



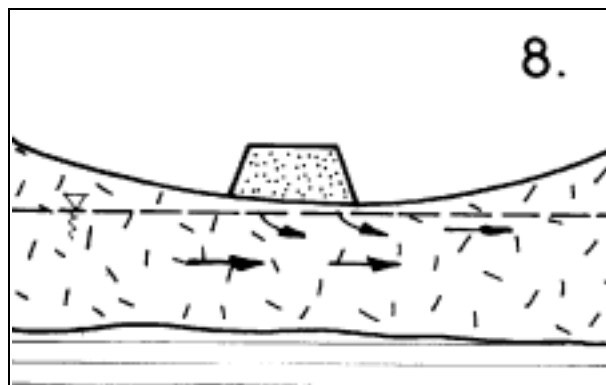
Laterálisan vízvezető összlettel határolt gyengén vízvezető összlet



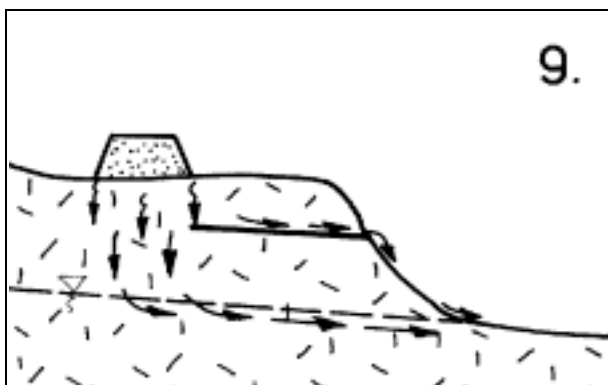
Gyengén vízvezető felszíni összlet alatt nyílttükrű talajvizet tartalmazó vízvezető összlet



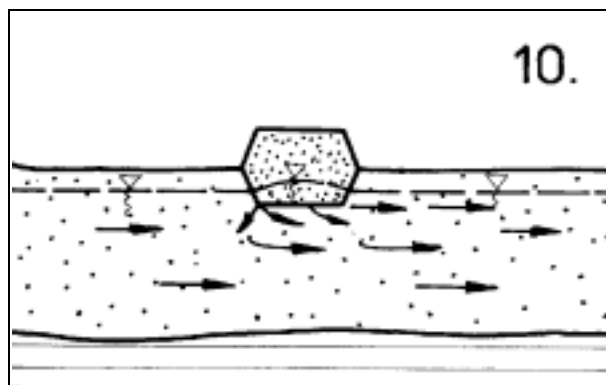
Gyengén vízvezető felszíni öszlet alatt feszített tükrű vizet tartalmazó vízvezető öszlet



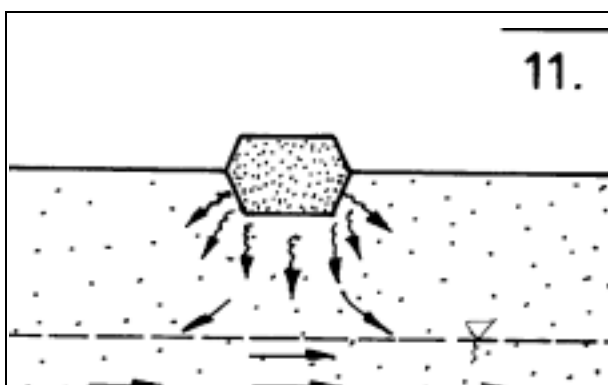
Jó vízvezető hasadékos kőzetben felszínközeli nyílttükrű talajvíz



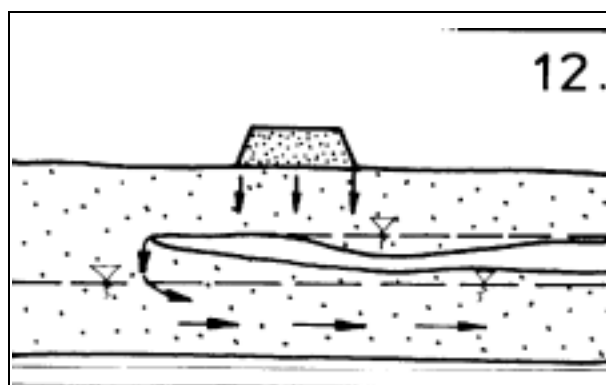
Jó vízvezető hasadékos kőzetben mélyfekvésű nyílttükrű rétegvíz



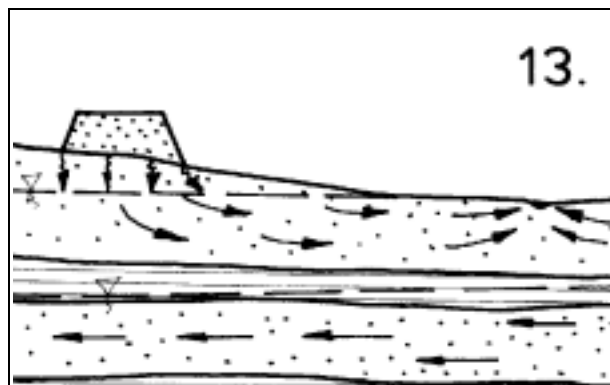
Jó vízvezető porózus öszletben felszínközeli nyílttükrű rétegvíz



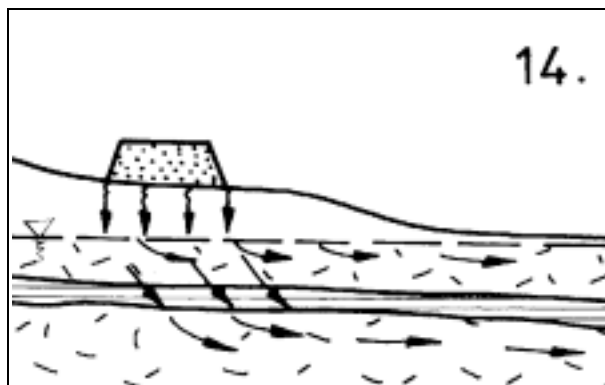
Jó vízvezető porózus öszletben mélyfekvésű nyílttükrű talajvíz/rétegvíz



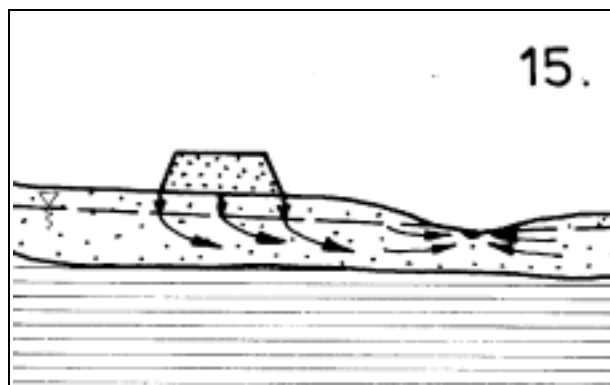
Jó vízvezető porózus öszletben vízzáró agyaglencse feletti időszakos talajvíz



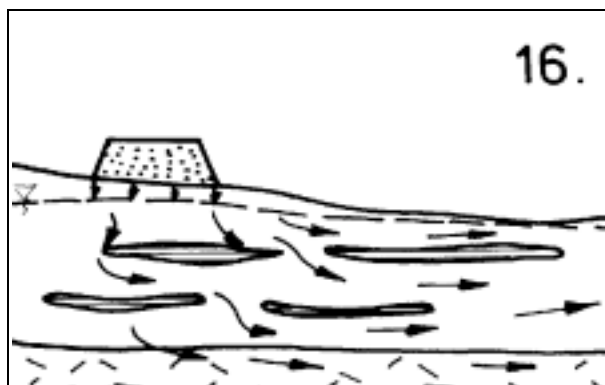
Jó vízvezető porózus összletben ellentétes esésű kettős talajvíz



Jó vízvezető hasadékos kőzetben megegyező esésű kettős talajvíz vagy talajvíz-kismélységű rétegvíz


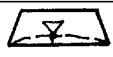




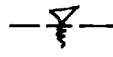



Közvetlenül befogadóval határolt jó vízvezető összlet



Jó vízvezető inhomogén összlet

### Jelmagyarázat

|                                                                                     |                                                               |                                                                                     |                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
|  | vízvezető szemcsés réteg<br>$k > 10^{-7} \text{ m/s}$         |  | depóniatest (csurgalékvíz)         |
|  | gyengén vízvezető, vízzáró réteg<br>$k < 10^{-7} \text{ m/s}$ |  | csurgalékvíz a telítetlen zónában  |
|  | vízvezető, repedezett, karsztos réteg                         |  | talajvízáramlás a telített zónában |
|                                                                                     |                                                               |  | talajvízszint                      |
|                                                                                     |                                                               |  | befogadó                           |

### 4.7. ábra

A földtani és vízföldtani adottságok tipizálása a hulladékelhelyezésre való alkalmasság szempontjából  
(DRESCHER, 1987.)

4.3. táblázat

| <i>A különböző természeti adottságú területeken (4.7. ábra) javasolt lerakó típus (DRESCHER, 1987.)</i> |                               |                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| <b>A lerakó típusa</b>                                                                                  | <b>A terület alkalmassága</b> | <b>Típusterület a 4.7. ábrán</b>    |
| Építési törmelék, inert anyagok                                                                         | igen                          | 1, 2, 3, 5, 6, 7                    |
|                                                                                                         | korlátozottan                 | 4, 9, 11, 12, 14                    |
|                                                                                                         | nem                           | 8, 10, 13, 15, 16                   |
| Kommunális hulladék                                                                                     | igen                          | 1, 2, 3, 5                          |
|                                                                                                         | korlátozottan                 | 6, 7                                |
|                                                                                                         | nem                           | 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 |
| Veszélyes hulladék                                                                                      | igen                          | 1, 2                                |
|                                                                                                         | korlátozottan                 | 3, 5, (6)*, (7)*                    |
|                                                                                                         | nem                           | 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 |

Megjegyzés: \* csak monodeponiaként

#### 4.4. A hulladéklerakóhelyek kutatása

##### 4.4.1. A megkívánt ismeretesség

A hulladéklerakók esetén a kutatás végén ismerni kell mindazon terület földtani, hidrogeológiai és geohidroológiai viszonyait, ami hat a lerakóhely eredeti vagy beépítés utáni viszonyaira. Ezen belül külön figyelem fordítandó arra a területre, amelyre a lerakóhely, illetve a lerakott hulladék hat vagy hathat. A legrészletesebb ismeretesség a lerakóhelyen és annak 50 méteres környezetében szükséges (JUHÁSZ, 1989.).

A *ható területen* (a tágabb környezetben) döntően a hidrogeológiai, geohidroológiai, dinamikai geológiai, tektonikai és szeizmológiai összefüggések felderítése a cél. A *hatásterületen* (a potenciális lerakóhelyen) a földtani, dinamikai geológiai, tektonikai, hidrogeológiai és a geohidroológiai viszonyok ismerete szükséges. Magán a *lerakóhelyen* ugyanakkor a földtani felépítés, a dinamikai geológiai viszonyok, a tektonika, beleértve a mikrotektonikát és a neotektonikát is, a szeizmológiai, hidrogeológiai és a geohidroológiai viszonyok ismerete a döntő. A ható- és hatásterületen, ill. a lerakóhely területén a megkívánt ismeretesség nem azonos, amit még a hulladék minősége is befolyásol. Amennyiben a terület földtani helyzete nem nyújtja a maximális biztonságot, azaz a lerakóhely kialakításához mesterséges védelem is kell, úgy a kutatás célja a megfelelő mesterséges védelem és a földtani viszonyok kapcsolatának a tisztázása is. A hatóterület kutatása a nem veszélyes hulladékok lerakása esetén annak vízháztartására és a vízösszetevők általános vizsgálatára terjed ki: előre kell tehát ismerni a lehulló csapadék sokévi átlagát, minimumát és maximumát és a felszínen elfolyó vízhozamot a terület vízfolyásaira vonatkozóan. Ezen belül a lerakóhelyhez legközelebb eső vízfolyásszelvény 30 éves időszakát, vízminőségét a fő komponensekre vonatkozóan, a szennyező forrásait, s azok helyét, a vízfolyásból történő vízkivételek helyét, hozamát, célját és a hordalékviszonyokat. Ismerni kell a hatóterület földtani vázlatát, elsősorban a beszivárgás szempontjából, valamint az esetleg előforduló karszterületeket. A hatásterületen a fentiekén kívül a földtani felépítés olymértékű ismerete is szükséges, hogy abból tisztázható legyen a vízvezető rétegek elterjedése, térbeli helyzete és egymással való kapcsolata. Tisztázni kell a felszín alatti víz minőségét. Fel kell tárnunk a vízháztartást természetes körülmények között és a lerakóhely megépítése után a sokévi átlagos adatok figyelembevételével.

A lerakóhely területén a földtani felépítést addig a mélységig kell tisztázni, ameddig a lerakóhely a hulladék, vagy a belőle kijutó szennyezőanyag révén hatással van.

#### **4.4.2. A hulladékelhelyezéssel kapcsolatos földtani kutatás elvei**

Annak érdekében, hogy a hulladéklerakók ható- és hatásterületét az előzőekben leírt megkívánt módon és mértékkel megismerjük, itt is alkalmazni célszerű a földtani kutatás általános alapelveit (JÓZSA-HETÉNYI-RAINCSÁK, 1990.).

Ezek:

– *A teljesség elve*

Magában foglalja a térbeli teljességet, a figyelembe vett képződmény teljes megismerését, a minőségi viszonyok megismerésének teljességét és a mellékcélok teljes megoldását.

– *A fokozatosság elve*

A fokozatos megismerés, ill. megközelítés elve azt jelenti, hogy mindig a döntésmechanizmushoz szükséges ismeretet szerezzük meg a területről. Ezért *a kutatást fázisokra bontjuk*. Az egymás utáni kutatási fázisoknak megfelelően a kutatási területről kapott ismereteink megbízhatósága folytonosan növekedjék.

Minden fázisban elegendő pontosságú ismerettel kell rendelkezünk ahhoz, hogy eldönthessük, indokolt-e a következő fázis elvégzése. Ha ezt nem tudjuk eldönteni, az illető kutatási fázist nem lehet befejezettnek tekinteni.

A fokozatosság elve tulajdonképpen a gazdaságosság érvényesítését szolgálja és a nyersanyagkutatásban évtizedek alatt bizonyította létjogosultságát.

– *Az egyenletes megismerés elve*

A kutatási területet többé-kevésbé egyenletes pontossággal, az adott kutatási fázisnak megfelelő részletességgel és megbízhatósággal kutassuk meg, ami földtani alapon kijelölt, egyenértékű információt nyújtó kutatási hálózattal és összehasonlítható eredményeket biztosító kutatási módszerrel érhető el.

– *Az optimális hatékonyság elve*

Az optimális hatékonyság elve a kutatások gazdaságosságára vonatkozó második legfontosabb szempontként a legkisebb idő-, munka- és költségfordítást követeli meg.

*Nem tartozik szorosan az általános kutatási elvek közé, de kiemelésre érdemes a földtani kutatás természetéből adódó másik két fontos elv is. Ezek:*

– *Az optimális kockázat elve*

A földtani kutatás, a földtani felépítés, de egyébként minden emberi tevékenység bizonyos kockázattal jár. Ezt egy optimálisához közelítő minimális szintre célszerű csökkenteni, amelyet tudatosan vállalni kell. A zérushoz közelítve történő csökkentés olyan mennyiségű többletfordítással járna, amely nem lenne konform az eredménnyel.

### – A kutatási tervezés elve

Minden célszerű és okszerű tevékenység megköveteli, hogy a rendelkezésre álló ismereteket csoportosítsuk, az elvégzendő, a megkívánt ismerethez szükséges munkákat kijelöljük és tervezzük. Ez lehetővé tesz egy gazdasági tervezést is. Ha mindezt egy kutatási tervben összesítjük és lehetőséget biztosítunk az illetékesek véleménynyilvánítására is, úgy a kollektív bölcsesség az optimális kutatási munkát segíti elő.

A fenti alapelvek hatásaiból látható, hogy egyesek ellentétben vannak egymással. Pl. a fokozatosság elve a legkisebb időráfordítással, de belátható, hogy a kutatási elvek ellentmondásos és egymással összefüggő voltának együttes figyelembevételével lehet csak a környezetföldtani kutató munkát a legésszerűbben elvégezni. Ennek alapvető feltétele az egységes szakmai koncepció és a folyamatos, független szakmai irányítás biztosítása.

### 4.4.3. A környezetföldtani kutatás fázisai

#### 4.4.3.1. Előzetes kutatás (I. fázis)

A kutatásnak ez a fázisa a számításba jöhető *alternatív területek* kijelölését szolgálja, miután az igény felmerült.

A helykiválasztásnál alapvető a *meglévő ismeretek* felhasználása, új feltárások kivitelezésére általában nem kerül sor. Itt elsősorban a

- topográfiai térképek (1:10 000 - 1:25 000),
- korábbi földtani térképek,
- meglévő feltárások adatai,
- (ha van) szennyeződésérzékenységi térkép(ek),
- légi felvételek,
- agrogeológiai felvételek, talajtani térképek,
- művelési ágra vonatkozó adatok,
- termelésből kivonható termőföld értéke

lesz az az alapadatrendszer, amelyre támaszkodhatunk.

A kutatásnak ezen fázisában kell megvizsgálni a vonatkozó hatályos jogszabályokkal, területrendezési, telepítési előírásokkal való összhangot, ill. azok teljesíthetőségét, mert a rendeleteknek a helykiválasztásnál értelemszerűen prioritásuk van. Természetesen *minden követelmény teljesülése ebben a fázisban nem garantálható*, azonban ezen hiányosságok, bizonytalanságok nem lehetnek a területrendezésre vonatkozó előírásokkal kapcsolatosak, azokkal ellentétesek.

Természetesen nem szükséges - és nem is biztosítható -, hogy a vonatkozó *előírások földtani, vízföldtani* követelményei is teljesüljenek, hiszen ezen kutatási fázisnak éppen az az elsődleges célja, hogy a tágabb környezet (*hatóterület*) és a potenciális lerakóhelyet (*hatásterület*) együttesen vizsgálva, mely területek azok, ahol *remény van arra, hogy mind az előírások, mind a földtani-vízföldtani követelményrendszer elemei* teljesüljenek.

A környezetföldtani kutatás ezen fázisában a számításba jöhető területeknél vizsgálni kell:

- *a tágabb környezet* környezetföldtani adottságait (vízadó-vízzáró képződmények térbeli helyzete, talajvíz-rétegvíz elhelyezkedése, források, vízkivételi helyek, azok utánpótlódási területei, stb.), elsősorban egy esetleges meghibásodás okozta elszennyeződés szempontjából;
- a számbajöhető földtani képződményeken belül meg kell keresni azokat a legkedvezőbb morfológiai, mérnökgeológiai, hidrogeológiai adottságú területeket, amelyek legalább a minimális környezetföldtani feltételeket teljesítik.

A fenti rendszer lényegében megegyezik a nyersanyagkutatásban szokásossal, hiszen az általános ismeret alapján prognosztizálunk egy környezetföldtani modellt (ott nyersanyagelőfordulási lehetőséget), majd ezen belül keressük a telepítésre alkalmas (ott a bányanyitásra alkalmas) lehetőséget a konkrét célok és adottságok figyelembevételével.

#### **4.4.3.2. Felderítő-előzetes kutatás (II. fázis)**

A kutatásnak ebben a fázisában az előkutatás során kijelölt alternatív területeken a már meglévő ismeretek és az új feltárások által nyújtotta információk alapján eldönthető legyen:

- az egyes területek alkalmassága, ill. alkalmatlansága, a *területek rangsorolhatók* legyenek;
- a területen belül a hulladéklerakásra kijelölt terület hulladéklerakó telepítésére való alkalmassága.

A kutatás gazdaságossága megköveteli, hogy ezt a fázist további két ütemre bontsuk:

*Az 1. ütemben* néhány kutatólétesítménnyel (fúrással) a *további kutatás lehetőségét, célszerűségét kell eldönteni.*

Az előkutatás során prognosztizáltunk, ebben az *első ütemben viszont a prognózisunkat ellenőrizzük.* A ható- és hatásterületen meggyőződünk prognózisunk helyességéről olyan mértékig és mélységig, hogy eldönthető legyen, érdemes-e a területen a kutatást továbbfolytatni. Legalább két, egymásra merőleges szelvény felvételére kell hogy legyen lehetőség, olyan feltárási távolsággal, amely alapján a földtani felépítés törvényszerűségei nagy valószínűséggel meghatározhatók az első egységes, jó vízvezető szintig, de legalább:

- 30 m mélységig, veszélyes hulladékok lerakójánál;
- a tervezett terítési rétegvastagság 1,2-szeresének megfelelő, de legalább 15 m mélységig kommunális hulladék-lerakóknál.

*A 2. ütemben* további kutatással a *terület alkalmasságát kell eldönteni.*

A második ütem során olyan feltárási sűrűséget kell elérni, hogy a földtani felépítés, az egyes rétegtani szintek a telepítés területén biztosan azonosíthatók legyenek az első egységes vízvezető szintig. A fentiekben leírt fúrás mélységek értelem szerűen itt is alkalmazandók. Kimutathatóan szabályos rétegződés esetén elegendő, ha a szükséges fúrásoknak csak egy részét mélyítik az így meghatározott mélységig, a többi fúrást azonban legalább 10 m-rel a depónia alapsíkja alá kell mélyíteni.

Ezzel az ütemezéssel azt kívánjuk elérni, hogy teljesen alkalmatlan területen (ahol a feltételezettekénél jelentősen kedvezőtlenebbek az adottságok) ne történjen szükségtelen kutatási ráfordítás.



A feltáró létesítmények ütemezett telepítésével és egy közbelső értékeléssel megoldható az egy fázisban való kutatás, megjegyezve és kihangsúlyozva azt, hogy ennek a két ütemre való bontásnak csak abban az esetben van nagy jelentősége, ha az előkutatás hipotézisét a tényleges földtani felépítés nem erősíti meg, utóbbi attól nagy mértékben eltér. Ez a legjobb előkészítő kutatás esetén is előfordulhat, ha tudomásul vesszük, hogy az ország földtani ismeretességében jelentős eltérések vannak.

A felderítő-előzetes kutatási fázisban a megkutatással szemben támasztott *főbb követelmények és az elvégzendő vizsgálatok köre* a következő (JÓZSA-HETÉNYI-RAINCSÁK, 1990.):

a) Az alkalmazott kutatási módszerek (geofizikai, szondázások, fúrás stb.), azok telepítése (szelvénymenti, hálózatos, stb.), a létesítmények egymástól való távolsága a morfológiai-földtani-hidrogeológiai modell függvénye, azok egymást kiegészíthetik, azt a kutatást tervezőknek kell meghatározni úgy, hogy a kutatás befejezése után a terület alkalmassága eldönthető legyen.

b) A közvetlen feltárások (fúrások, aknák, stb.) kivitelezésénél olyan módszereket kell alkalmazni, amelyek zavartalan mintavételt tesznek lehetővé.

c) A földtani modell ismeretében, a feltárás mélységének figyelembevételével általában méterenként és rétegváltozásonként kell mintát venni.

d) A közvetett feltárások közül csak a jól és viszonylag pontosan értelmezhetőket lehet alkalmazni, általában a közvetlen feltárások távolságának növelésére és a tektonikai és mállott-repedezett, fellazult zónák nyomonkövetésére.

e) A kutatás természeténél fogva fel kell készülni a különleges mintavételi és kezelési lehetőségekre a tervezett anyagvizsgálat függvényében.

f) Lényeges és a kutatási tervben nyomatékosan tervezendő, hogy a kutatólétesítmények kivitelezésénél minden vízre vonatkozó észlelés, ill. változás rögzítésre kerüljön, és a hidrogeológiai vizsgálatok a lehető legpontosabb információt szolgáltatassák.

Minden talajvíz, rétegvíz mintából a "0" állapot rögzítéséhez részletes- a nehézfémekre és a korra kiterjedő - - vízmintavizsgálat szükséges.

g) Vizsgálatokat kell végezni abból a célból, hogy az elhelyezni kívánt anyagok rétegekbe történő kijutása esetén milyen hatást gyakorolnak a rétegek ásvány-közzettani összetételére, milyen irányban befolyásolják a rétegek fizikai jellemzőit, elsősorban az áteresztőképességi viszonyokat és milyen egyéb fizikokémiai folyamatok (adszorpció, kemisorpció, ioncsere, stb.) befolyásolják még a lehetséges szennyezések tovaterjedését.

h) Az elvégzendő kőzetfizikai vizsgálatokat a modellhez és a kőzetminőséghez alkalmazkodó módszerekkel kell tervezni és az érvényes szabványelőírások szerint elvégezni.

i) A szivárgási tényező meghatározását a modellhez és a földtani felépítéshez igazodó helyszíni vizsgálatokkal is ki kell egészíteni.

j) A kivitelezésre kerülő közvetlen feltárásokat vagy azok egy részét úgy kell kialakítani, hogy azok részei lehessenek a részletes fázisú kutatás során véglegesen megtervezésre kerülő ellenőrző-figyelő rendszernek.

Az egyes fázisok során elvégzendő vizsgálatokat egy németországi és egy hazai ajánlás alapján a **4.4. - 4.5. táblázatok**, a javasolt geotechnikai feltárási módszereket a **4.6. táblázat**, a javasolt hidrogeológiai *in situ* vizsgálatokat a **4.7. táblázat**, a javasolt geotechnikai laboratóriumi vizsgálatokat pedig a **4.8. táblázat** foglalja össze.

**4.4. táblázat**

| <i>Vizsgálati és kiértékelési fázisok veszélyeshulladék-lerakók telephely-kutatásánál, Alsó-Szászországban<br/>(JÓZSA-HETÉNYI-RAINCSÁK, 1990.)</i> |                  |     |      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----|------|-----|
| Vizsgálatok                                                                                                                                        | Kutatási fázisok |     |      |     |
|                                                                                                                                                    | I.               | II. | III. | IV. |
| Potenciálisan alkalmas kőzetek kiválasztása                                                                                                        | o                |     |      |     |
| A kőzetek elterjedési térképeinek összeállítása                                                                                                    | o                |     |      |     |
| Részletes megkutatási területek kiválasztása, a természetvédelem, a talajvízvédelem, a beépítés (lakóterületek, stb.) figyelembevételével          | o                |     |      |     |
| Földtani térképek és meglévő fúrások kiértékelése                                                                                                  | o                | o   |      |     |
| További fúrások kivitelezése                                                                                                                       |                  | o   | o    | o   |
| Rétegtani vizsgálatok                                                                                                                              |                  | o   | o    | o   |
| A természetes szigetelőréteg-vastagságok megállapítása                                                                                             |                  |     |      |     |
| - a kőzetfelépítés                                                                                                                                 |                  | o   | o    |     |
| - szövetszerkezet                                                                                                                                  |                  | o   | o    | o   |
| - rétegtani inhomogenitások                                                                                                                        |                  | o   | o    | o   |
| - zavart zónák                                                                                                                                     |                  | o   | o    | o   |
| - települési viszonyok (tektonika) meghatározása                                                                                                   |                  | o   | o    |     |
| Geofizikai fúrólukmérések                                                                                                                          |                  | o   | o    | o   |
| Potenciális talajvízvezetők térképezése a vizsgálati területek hatásterületein                                                                     |                  |     | o    | o   |
| Fúrások kiépítése talajvízészlelő kutakká                                                                                                          |                  | o   | o    | o   |
| Talajvízszint-ingadozások regisztrálása                                                                                                            |                  |     | o    | o   |
| Befogadási viszonyok megállapítása                                                                                                                 |                  |     | o    | o   |
| Kísérleti területek létesítése a réteg szivárgási tényezőjének vizsgálatára ("in situ" vizsgálat)                                                  |                  | o   | o    | o   |
| Kísérletek anyagszállításhoz                                                                                                                       |                  |     | o    | o   |
| A talajvíz kémiai elemzése                                                                                                                         |                  |     | o    | o   |
| Hőmérsékleti/vezetőképességi szelvények                                                                                                            |                  | o   | o    | o   |
| A talajvíz kormeghatározásai                                                                                                                       |                  | o   | o    | o   |
| A természetes szigetelőréteg kőzettani jellemzése                                                                                                  |                  | o   | o    | o   |
| Kőzetfizikai vizsgálatok                                                                                                                           |                  | o   | o    | o   |
| Permeabilitás vizsgálatok (laboratóriumban)                                                                                                        |                  | o   | o    | o   |
| Duzzadási-, puffer- és adszorpciós képesség                                                                                                        |                  | o   | o    | o   |
| pH-érték, karbonáttartalom, pufferkapacitás                                                                                                        |                  | o   | o    | o   |
| Szimulációs modellek kifejlesztése a vízben lévő anyagok terjedésének mennyiségi becsüléséhez                                                      |                  | o   | o    | o   |

4.5. táblázat

| <i>Veszélyeshulladék-lerakótelepek kutatása során elvégzendő vizsgálatok fázisai (JÓZSA-HETÉNYI-RAINCSÁK, 1990.)</i> |                  |     |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----|------|
| Vizsgálat                                                                                                            | Kutatási fázisok |     |      |
|                                                                                                                      | I.               | II. | III. |
| Általános területrendezési telepítési szabályok                                                                      |                  |     |      |
| - Területfelhasználási szabályok                                                                                     | o                |     |      |
| - Településfejlesztési szempontok                                                                                    | o                |     |      |
| - Védett területek (vízvédelmi, természetvédelmi, ásvány-, vagyonvédelmi, stb.)                                      | o                |     |      |
| - Védőtávolságok (településtől, közúttól, stb.)                                                                      | o                |     |      |
| - Megközelíthetőség                                                                                                  | o                |     |      |
| Meteorológiai adatok                                                                                                 |                  |     |      |
| - Csapadékadatok                                                                                                     | +                | o   | o    |
| - Szélviszonyok                                                                                                      | +                | o   | o    |
| Földrajzi adottságok                                                                                                 |                  |     |      |
| - Morfológiai viszonyok (lejtőkategória stb.)                                                                        | +                | o   | o    |
| - Növényzet, művelési ágak                                                                                           | +                | o   | o    |
| Hidrológiai adottságok                                                                                               |                  |     |      |
| - Árvíz, belvízveszélyeztetettség                                                                                    | +                | o   |      |
| - Lefolyási viszonyok, csapadékvízvezetés                                                                            | +                | o   | o    |
| - Befogadók, vízfolyások, vízgyűjtő területek                                                                        | +                | o   | o    |
| Földtani adottságok                                                                                                  |                  |     |      |
| - Távolabbi környezet vizsgálata                                                                                     |                  |     |      |
| - Ásvány-kőzettani felépítés                                                                                         | +                | o   |      |
| - Kor, település, vastagság                                                                                          | +                | o   |      |
| - Fejlődéstörténet, tektonika                                                                                        | +                | o   |      |
| - Átnézeti földtani térképek, szelvények                                                                             | +                | o   |      |
| - A kutatási terület vizsgálata                                                                                      |                  |     |      |
| - Feltáró létesítmények (fúrások, aknák stb.) telepítése                                                             |                  | o   | o    |
| - Ásvány-kőzettani viszonyok, vizsgálatok                                                                            |                  | o   | o    |
| - Kor, település, vastagság                                                                                          |                  | o   | o    |
| - Fejlődéstörténet, tektonika                                                                                        |                  | o   | o    |
| - Különböző méretarányú térképek, szelvények szerkesztése                                                            |                  | o   | o    |
| Műszaki földtani viszonyok                                                                                           |                  |     |      |
| - Szeizmikus, földrengésveszélyességi viszonyok                                                                      | +                | o   | o    |
| - Felszínmozgás veszélyességi térkép                                                                                 | +                | o   |      |
| - Rézsúállékonysági vizsgálat                                                                                        |                  | o   | o    |
| - Erózióvizsgálat                                                                                                    |                  | o   | o    |
| - Geotechnikai jellemzők                                                                                             |                  | o   | o    |
| - Alapozási viszonyok                                                                                                |                  |     | o    |
| - Műszaki védelem                                                                                                    |                  | +   | o    |

– elvégzendő vizsgálat

+ becslés, prognózis

Jelentősebb problémát csak a kétütemű kivitelezés okozhat, de a gazdaságosság miatt akár a két felvonulást, tehát a kutatási munka időleges megszakítását is vállalni kell.

Kivételes esetben a kétütemű kutatás elképzelhető egy kutatási területen belül is, annál is inkább, mert az anyagvizsgálatokhoz általában speciális mintakezelés szükséges, valamint kívánatos, hogy a feltárás és a mintavizsgálat közötti idő a lehető legrövidebb legyen.

4.6. táblázat

| <i>Javasolt geotechnikai feltérési módszerek (ÖNORM S 2074/1)</i> |                  |                          |                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Módszer                                                           | talajra alkalmas | szilárd kőzetre alkalmas | Cél                                                                                                                                  |
| Természetes feltérás                                              | igen             | igen                     | - talaj/szilárd kőzet fajtája<br>- település<br>- kőzetállapot (mállottság, lazulás)                                                 |
| Talajfeltérás                                                     | igen             | nem                      | - tagoló felületek (repedések, palásság, rétegzés, törés)                                                                            |
| Fúrás                                                             | igen             | igen                     | - mintavétel a laboratóriumi vizsgálathoz                                                                                            |
| Szondázás                                                         | igen             | nem                      | - helyszíni kísérletek a mechanikai talajjellemzők meghatározására                                                                   |
| Felszíni geofizikai mérés (szeizmikus, geoelektromos mérések)     | feltételesen     | igen                     | - talaj/szilárd kőzet fajtája<br>- réteghatárok,<br>- talajvízszint, talajvízmozgás<br>- szeizmikus sebesség tekintetében információ |

(ÖNORM: az Osztrák Szabvány rövidítése)

4.7. táblázat

| <i>Javasolt hidrogeológiai vizsgálati módszerek ÖNORM S 2074/1)</i> |                  |                          |                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Módszer                                                             | talajra alkalmas | szilárd kőzetre alkalmas | Cél                                                                                                                                                                |
| <b>Fúrások</b>                                                      | igen             | igen                     | - vízvezető rétegek<br>- vízzáró rétegek<br>kimutatása                                                                                                             |
| - talajvízészlelő kúttá való kiépítés esetén                        | igen             | igen                     | - talajvízfelszín<br>- talajvíznyomásfelület(ek)<br>- talajvízesés<br>kimutatása.<br>- talajvízáramlás felderítése                                                 |
| - állandó észlelőhely létesítése (esetleg többszörös észlelőhely)   | igen             | igen                     | Talajvízszintingadozások kimutatása (évszakos vagy az építkezés következményeként fellépő)                                                                         |
| <b>Helyszíni kísérletek</b><br>- próbaszivattyúzás                  | igen             | igen                     | - kitermelendő vagy kitermelhető vízmennyiség<br>- k szivárgási tényező<br>- lehetséges vízszintsüllyesztés<br>- vízszintsüllyesztés hatósugarának a meghatározása |
| - visszatöltődés                                                    | igen             | igen                     | k szivárgási tényező meghatározása                                                                                                                                 |
| - vízbesajtolási kísérletek (WD-teszt)                              | nem              | igen                     | - vízfelvétel<br>- szivárgási egyenértékszám meghatározása                                                                                                         |
| - nyeletési vizsgálatok                                             | igen             | igen                     | vízfelvevő képesség vizsgálata szikkasztóknál                                                                                                                      |
| - jelzőanyag vizsgálatok (pl. festék, só, izotópok segítségével)    | igen             | igen                     | - talajvíz áramlási irány<br>- talajvíz áramlási sebesség meghatározása.                                                                                           |

4.8. táblázat

| <i>A területkijelölés során a talajokon végzendő laboratóriumi vizsgálatok</i> |                               |                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kísérlet</b>                                                                | <b>Kivitelezés alapja</b>     | <b>Mért jellemzők</b>                                                                                                          |
| Szemeloszlás                                                                   | MSZ 14043/3                   | szemeloszlás, egyenlőtlenségi mutató                                                                                           |
| Víztartalom                                                                    | MSZ 14043/6                   | víztartalom, konzisztencia-index, telítettség                                                                                  |
| Konzisztenciahatárok                                                           | MSZ 14043/4                   | folyási határ, sodrási határ, plasztikus index, sodrási határ                                                                  |
| Zsugorodás                                                                     | MSZ 14043/4                   | zsugorodási határ, lineáris zsugorodás                                                                                         |
| Szerves alkotók                                                                | MSZ 14043/9                   | szervesanyagtartalom                                                                                                           |
| Méstartalom                                                                    | Scheibler módszer             | CaCO <sub>3</sub> -tartalom                                                                                                    |
| Szemcsesűrűség                                                                 | MSZ 14043/5                   | a szilárd anyag sűrűsége                                                                                                       |
| A fázisos összetétel térfogat és súlyarányai                                   | MSZ 14043/15                  | a talaj sűrűsége, szárazállapot-térfogatsűrűség, települési térfogatsűrűség, hézag-tényező, hézag-térfogat, fázisos összetétel |
| Leglazább és legtömörebb település                                             | MSZ 14043/5                   | települési térfogatsűrűség                                                                                                     |
| Proctor-vizsgálat                                                              | MSZ 14043/7                   | maximális száraz térfogatsűrűség-érték, optimális víztartalom                                                                  |
| Egytengelyű nyomókísérlet                                                      |                               | egytengelyű nyomószilárdság, törési rövidülés, E modulus                                                                       |
| Triaxiális nyomókísérlet, nyíró-kísérlet                                       |                               | nyírószilárdsági jellemzők, (kohézió, belső súrlódási szög)                                                                    |
| Kompressziós kísérlet                                                          | MSZ 14043/8                   | összenyomódási modulus, konsolidációs együttható                                                                               |
| Duzzadási kísérlet                                                             |                               | duzzadási nyomás, duzzadás mértéke                                                                                             |
| Fagyasztási kísérlet                                                           | MSZ 07 ÚT 2-75                | fagyérzékenység, fagyási emelkedés, fagynyomás                                                                                 |
| Áteresztőképesség meghatározás                                                 | flexibilis falú permeabiméter | szívárgási tényező, anizotrópia                                                                                                |
| Eróziós kísérlet                                                               |                               | erózióérzékenység                                                                                                              |
| Kapilláris emelkedés                                                           |                               | aktív és passzív kapilláris emelkedés                                                                                          |
| Ásvány-közzettani elemzések                                                    | MSZ 18283                     | ásványtani összetétel, földtani eredet                                                                                         |
| Röntgenanalízis vagy differenciáltermoanalízis (DTA)                           |                               | ásványi összetétel, duzzadásképes elegyrészek                                                                                  |
| Vízfelvétel                                                                    | Enslin módszer                | maximális vízfelvevőképesség                                                                                                   |
| Kationcsere kapacitás                                                          |                               | kationcserélő képesség, kicserélhető kationok összege, le nem kötött adszorpciós helyek mennyisége                             |

A kutatás két üteme szükségessé tesz egy *közbenső értékelést*, aminek a kutatási tervben rögzített I. ütem befejezése után kell megtörténnie.

Itt kell eldönteni, hogy *a terület továbbkutatásra alkalmas-e*. Ennek érdekében rövid közbenső kutatási jelentést célszerű készíteni, amelynek alapján a megbízó, a megrendelő, a jóváhagyásban közreműködő szervek dönthetnek a kutatás további folytatásáról vagy befejezéséről.

Pozitív válasz esetén elvégezhető a felderítő-előzetes kutatási fázis *2. üteme*, ahol a vizsgálatok köre már nem bővül, csupán a kutatólétesítmények sűrítésére kerül sor a korábbiakban leírtak szerint. A kutatási fázis *összefoglaló értékelésének* állást kell foglalnia, hogy *a megkutatott terület, mint földtani környezet, alkalmas-e* a célokban megfogalmazott hulladéklerakó telepítésére. A megkutatott területeket külön-külön értékelni kell, elsősorban a természeti

adottságok alapján, és állást kell foglalni azon kérdésben is, hogy az egyes területek mennyire elégítik ki a követelményrendszert és milyen további kiegészítő műszaki védelemre van szükség.

Mindezek alapján a *területeket rangsorolni célszerű*, s javaslatot kell tenni a továbbkutatásra, az ott elvégzendő vizsgálatok körére, valamint meg kell határozni a *megfigyelő rendszer kialakításának alapelveit*, aminek a feltáró létesítmények telepítésénél van gazdasági jelentősége.

#### **4.4.3.3. Részletes fázisú környezetföldtani kutatás (III. fázis)**

A felderítő - előzetes fázisú kutatás során eldöntésre kerül a területnek, mint földtani környezetnek az alkalmassága.

A részletes fázisú kutatás során az előző vizsgálatok alapján kiválasztott területen az alábbi célokat kell megvalósítani:

- A létesítmények, tározók, megközelítési utak földtani, köztüfizikai, hidrológiai, hidrogeológiai szempontból való *legkedvezőbb telepítési lehetősége*.
- A kutatóterület hidrogeológiai vizsgálata alapján a lerakóhely vízháztartási vizsgálata.
- A földtani környezethez alkalmazkodó *műszaki gátak optimális mennyiségének a megtervezése*, kompatibilitás vizsgálat.
- A hatásterület vizsgálata, a várhatóan bekövetkező változások előrejelzése, az esetlegesen bekövetkező meghibásodás okozta elszennyeződés részletes, lehetőleg a transzport folyamatok szimulációjára alapozott vizsgálata.
- Az *ellenőrző, figyelő rendszer kialakításának végső megtervezése*, a rendszer működési idejének és mechanizmusának megtervezése.
- Alapadatok szolgáltatása a hulladéklerakó és kiszolgáló létesítményei kiviteli terveinek elkészítéséhez.

Ezen fázis befejezése után már nem maradhat megválaszolatlan, nyitott kérdés sem a földtani környezet, sem a műszaki gátak, sem a várható következmények, sem az üzemeltetés vonatkozásában. Természetesen bizonyos kockázat változatlanul fennáll, azonban az egymásra épülő kutatási fázisoknak éppen az a célja, hogy ezt a kockázatot a minimálisra szorítsák, illetve lehetőséget biztosítsanak a természetes és műszaki védelem optimális arányainak a meghatározásában.

#### **4.5. A megkutatott területek értékelésének a szempontjai**

A többfázisú kutatási rendszerben az *előkutatási* - és a *felderítő-előzetes kutatási fázisban* több terület párhuzamos vizsgálata folyik, a kutatás befejezésekor pedig javaslatot kell tenni a továbbkutatásra. A kiválasztott terület adottságai döntően meghatározzák a tárolás biztonságát és a szükséges műszaki megoldások révén a gazdasági ráfordítás mértékét. A már üzemelő vagy lezárt tárolóhelyek esetén csak kevés lehetőség van a terület kiválasztása során elkövetett hibák korrigálására. Nem megfelelő biztonságot nyújtó tároló felszámolása igen költségigényes, veszélyes és kockázatos vállalkozás, éppúgy mint az utólagos műszaki intézkedések alkalmazása a tárolási biztonság növelésére.

A fentiekből következik, hogy szükség van olyan módszerek kidolgozására, amelyek lehetővé teszik az összehasonlító elemzést, az egyes területek kvantitatív értékelését, rangsorolását, s a *lehetőségek közül az optimális lerakóhely kiválasztását*. Különösen nagy jelentősége van ezen

lépésnek a *felderítő-előzetes kutatási fázis befejeztével*, hiszen ezután már csak egyetlen kiválasztott terület marad a továbbkutatásra.

A következőkben bemutatandó módszereknél értelemszerűen elsősorban a környezetföldtani szempontok, a természeti adottságok értékelési szempontjait tekintjük át. Természetesen az egyes területek értékelésének vannak még egészen más szempontjai is, mint pl. a begyűjtési területre vonatkoztatott optimális szállítási költség, a különböző szállítási útvonalak környezeti hatásai, a meglévő ill. kiépítendő infrastruktúráis költségek, a hulladékelhelyezés várható költsége (Ft/m<sup>3</sup>), stb. Nem valószínű, hogy a hulladékgazdálkodási szempontból optimális és a legkedvezőbb természeti adottságokkal rendelkező terület megegyezik (ROHRBECK, 1979.).

Az előkutatási fázisban még viszonylag kevés adattal rendelkezünk, tehát itt még legtöbbször csak azt tudjuk megmondani, hogy bizonyos feltételek teljesülnek-e vagy sem. Egy ilyen *igen - nem típusú* információkra alapozott területösszehasonlítási példát mutat be a **4.9. táblázat** (FEHÉR, 1984.).

4.9. táblázat

| <i>Példa a terület kiválasztására különféle jellemzők alapján</i> |   |   |   |        |                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------|---|---|---|--------|------------------------------------------------------------------------|
| Számításba vett területek                                         |   |   |   |        | Területi jellemzők                                                     |
| 1                                                                 | 2 | 3 | 4 | 5 stb. |                                                                        |
| x                                                                 | x |   |   | x      | A szabályozási követelmények teljesíthetősége                          |
| x                                                                 | x | x |   |        | Kellően vastag természetes szigetelőréteg mélysége                     |
| x                                                                 | x | x |   | x      | A közet vízáteresztő képessége kicsi, a talajvízszint megfelelő        |
| x                                                                 | x | x | x |        | Kedvező fedőösszlet vastagság                                          |
|                                                                   | x |   | x |        | Az alapkőzet szerkezeti felépítése kedvező                             |
| x                                                                 | x | x | x | x      | Nincs kedvezőtlen hatás a használható vízáadó rétegre                  |
| x                                                                 | x |   | x |        | A szomszédos területen élő népesség száma kicsi                        |
| x                                                                 |   |   | x |        | Összhang a jelenlegi területhasznosítás és a területbesorolás között   |
|                                                                   | x | x |   | x      | Kedvező szállítási lehetőség                                           |
| x                                                                 | x |   | x |        | Kedvező légáramlási viszonyok                                          |
|                                                                   |   | x | x | x      | Szennyvízelvezetés van                                                 |
|                                                                   | x | x | x |        | Vízellátás van                                                         |
| x                                                                 | x | x | x | x      | Elektromos áram van                                                    |
| x                                                                 | x | x | x | x      | Nincs a közelben műemlékileg, régészeti, kulturálisan jelentős terület |

A környezetföldtani viszonyok és a természeti adottságok értékelésére mutat be példát a **4.10. táblázat**. A rudabányai veszélyes-hulladék égető égetési maradékának lerakóhelye kijelölésénél számításba jött egy-egy Szuhogy, Izsófalva és Szendrő községhez tartozó terület. A számításba vett területek tágabb földtani környezetének felépítése lényegében nem különbözött: egy minimálisan 10 m vastag, pliocén (pannóniai) iszapos-agyagos rétegösszlet települt a triász, ill. devon mészkő összletre. Az előzetes kutatási fázisban végzett helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok (ásvány közettani, kőzetfizikai, hidraulikai) kiértékelése alapján adódott a **4.10. táblázat** szerinti rangsor, és továbbkutatásra már csak a szuhogyi terület került, amely végül a részletes környezeti hatásvizsgálat alapján is alkalmasnak mutatkozott a lerakó létesítésére.

4.10. táblázat

| <i>A rudabányai veszélyeshulladék-égetőmű égetési-maradék lerakója előzetes kutatási fázisának értékelése</i> |                    |           |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------|----------|
| A vizsgált jellemző                                                                                           | A vizsgált terület |           |          |
|                                                                                                               | Szuhogy            | Izsófalva | Szendró  |
| A földtani felépítés változékonysága, homogenitása                                                            | ++                 | □         | □□       |
| A természetes szigetelőréteg vastagsága                                                                       | ++                 | +         | □        |
| A talajvíz mélysége                                                                                           | +                  | +         | +        |
| Az altalaj szivárgási tényezője                                                                               | ++                 | +□        | □□       |
| Konzisztencia jellemzők ( $I_p$ ; $w_L$ ; $I_C$ )                                                             | ++                 | ++        | ++       |
| Állapot jellemzők ( $\rho_n$ ; $\rho_d$ ; $e$ )                                                               | ++                 | ++        | +        |
| A természetes szigetelőréteg agyagásványtartalma                                                              | +                  | □         | ++       |
| Zsugorodási jellemzők                                                                                         | □                  | +         | ++       |
| A továbbkutatásra javasolt rangsor                                                                            | <b>1</b>           | <b>2</b>  | <b>3</b> |

Megjegyzés: ++ kedvező  
 + megfelelő  
 □ elfogadható  
 □□ nem megfelelő

Az ilyen jellegű értékelés nem teszi lehetővé a területek számszerű értékelését, ezért arra kell törekedni, hogy a területek jellemzésére olyan domináns tulajdonságokat válasszunk ki, amelyek mérhetőek és számszerűsíthetőek. Elvégezhetjük pl. a területek értékelését a **4.11. táblázatban** közölt szempontok értékelésével is SENG (1979.) javaslata szerint. Minden egyes kritériumhoz hozzárendelhető egy, a jelentőségének megfelelő *súlyarány-szám*, amely értékeket területenként összegezve a rangsor elkészíthető. Nyilvánvaló, hogy ezek a súlyarányok nem vehetők figyelembe még a legmagasabb pontszámmal sem, ha a terület az illető kritériumnál nem felel meg a *minimális követelményeknek* (pl. felszínmozgásveszélyes területre esik, stb.). A táblázatban megadott pontértékek mindig a még megengedhető, elviselhető hatásra vonatkoznak, s azok tovább is finomíthatók, amelyre példákat is találunk SENG idézett munkájában. Az is nyilvánvaló, hogy a bemutatott kritériumrendszer csak egy lehetséges megoldás, és a súlyarány-értékeken is lehet vitatkozni, azokat ésszerűen meg lehet változtatni, illetve további értékelési szempontokat lehet figyelembe venni. Alapvetően az a fontos, hogy *minél több paraméter súlyának megfelelő értéken történő figyelembevételével, azonos szempontok alapján értékeljük a minimális környezetföldtani elvárásoknak megfelelő területeket.*



4.11. táblázat

| <i>A területalkalmassági kritériumok javasolt súlyarányai SENG (1974.) szerint</i> |           |                                                       |                |                                                        |                 |                             |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|-----|
| Értékelési szempont                                                                | Súlyarány | Kritérium                                             | Súlyarány      | Részkritérium                                          | Súlyarány       |                             |     |
|                                                                                    | S         |                                                       | S <sub>K</sub> |                                                        | S <sub>RK</sub> |                             |     |
| Általános                                                                          | 4,4       | A lerakó területének a nagysága                       | 1,6            | területnagyság                                         | 0,8             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | feltöltött térfogat                                    | 0,8             |                             |     |
|                                                                                    |           | Bővítési lehetőségek                                  | 1,6            | területi                                               | 0,9             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | térfogati                                              | 0,7             |                             |     |
|                                                                                    |           | Terület megszerzése                                   | 1,2            | tulajdonviszonyok                                      | 0,4             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | vételi lehetőségek                                     | 0,6             |                             |     |
|                                                                                    |           | földrendezés                                          | 0,2            |                                                        |                 |                             |     |
| Terület-gazdálkodás és közlekedés                                                  | 26        | Védett vagy védendő területektől való távolság        | 16,6           | lakóterület                                            | 7,0             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | természet-és tájvédelmi terület                        | 1,5             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | üdülő- és szabadidő központ                            | 4,0             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | védett mezőgazdasági kultúra                           | 2,1             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | érzékeny ipari és üzemi tevékenység                    | 2,0             |                             |     |
|                                                                                    |           | Hasonló hasznosítási területektől való távolság       | 7,6            | ipari és üzemi területek                               | 3,0             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | közlekedési utak                                       | 4,0             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | vasútvonal                                             | 0,5             |                             |     |
|                                                                                    |           | A lerakó létesítményei okozta infrastruktúra-változás | 1,8            | védelmi berendezések                                   | 0,1             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | ipari- és ivóvízvezetékek                              | 0,1             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | szennyvíz- és csurgalékvízvezetékek                    | 0,2             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | felsővízi vízelvezetés                                 | 0,1             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | elektromos hálózatra csatlakozás                       | 0,1             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | telefonhálózat kiépítése                               | 0,1             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | közlekedési utak biztosítása, a meglévők átépítése     | 0,5             |                             |     |
| a lerakó megközelítése                                                             | 0,5       |                                                       |                |                                                        |                 |                             |     |
|                                                                                    |           | vasútvonal kiépítése                                  | 0,2            |                                                        |                 |                             |     |
| Tájgazdálkodás                                                                     | 16,0      | A lerakó üzemelésének a hatása                        | 7,0            | tájkép                                                 | 1,0             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | felsővízi formák változása                             | 1,0             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | a növény- és állatvilág életterének megzavarása        | 1,5             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | a történelmi és népművészeti értékekre gyakorolt hatás | 1,5             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | esztétikai benyomás                                    | 2,0             |                             |     |
|                                                                                    |           | A bezárt, rekultivált lerakó hatása                   | 9,0            | tájkép                                                 | 2,0             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | felsővízi forma                                        | 1,0             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | növények és állatok élettere                           | 3,0             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | történelmi- és népművészeti értékek                    | 3,0             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                |                                                        |                 | az altalaj vízzárósága      | 5,0 |
| Vízgazdálkodás                                                                     | 24        | Vízgazdálkodási területi adottságok                   | 19,5           | vízkiút, vízbázis a ható- és hatásterületen            | 4,5             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | felsővízi vízlefolyás, forrás a lerakó közelében       | 3,0             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | felsővízi vízfolyás, állóvíz                           | 6,9             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | árvíz-, belvízveszélyeztetettség                       | 0,1             |                             |     |
|                                                                                    |           | A csurgalékvíz és a szennyvíz gyűjtése, elvezetése    | 4,5            | a várható csurgalékvíz mennyiség                       | 2,0             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                | tisztítóberendezésre való csatlakozás                  | 2,0             |                             |     |
|                                                                                    |           |                                                       |                |                                                        |                 | a vízhálózat terhelhetősége | 0,5 |
|                                                                                    |           |                                                       |                |                                                        |                 |                             |     |

4.11. táblázat  
(folytatás)

| <i>A területalkalmassági kritériumok<br/>javasolt súlyarányai SENG (1974.) szerint</i> |           |                                              |                                                 |                                   |                                              |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|
| Értékelési szempont                                                                    | Súlyarány | Kritérium                                    |                                                 | Súlyarány                         | Részkritérium                                | Súlyarány       |
|                                                                                        | S         |                                              |                                                 | S <sub>K</sub>                    |                                              | S <sub>RK</sub> |
| Meteorológiai<br>immissziók                                                            | 20        | Nagy-<br>térsegi<br>(makro)                  | A szállítás-<br>terjedés<br>éghajlati<br>elemei | 0,8                               | szélviszonyok                                | 0,2             |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 |                                   | felhők mennyisége,<br>gyakorisága            | 0,3             |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 |                                   | a szennyeződés<br>visszajutásának a veszélye | 0,3             |
|                                                                                        |           |                                              | A légtér<br>alapterhelése                       |                                   | por, kigőzölés                               | 0,2             |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 |                                   | SO <sub>2</sub>                              | 0,2             |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 |                                   | illatanyagok                                 | 0,4             |
|                                                                                        |           | Kis-<br>térsegi<br>(mikro)                   | A szállítás-<br>terjedés<br>éghajlati<br>elemei | 4,3                               | üzemi alapzaj                                | 0,6             |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 |                                   | max. zajterhelés                             | 0,4             |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 |                                   | szélviszonyok                                | 1,0             |
|                                                                                        |           |                                              | felhők mennyisége,<br>gyakorisága               |                                   | 1,0                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              | légáramlatok (különösen<br>hideg) hatása        |                                   | 1,3                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              | a szennyeződés<br>visszajutásának a veszélye    |                                   | 1,0                                          |                 |
|                                                                                        |           | A légtér<br>alapterhelése                    | 10,5                                            | por, kigőzölés                    | 0,3                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 | SO <sub>2</sub>                   | 0,1                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 | szállítójárművek                  | 0,2                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 | illatanyagok                      | 1,4                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 | üzemi alapzaj                     | 7,0                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 | max. zajterhelés                  | 1,5                                          |                 |
| A terület adottságai a<br>lerakó üzemelési<br>emisszióinak<br>mérésére                 | 2,6       | por                                          | normál üzem                                     | 0,3                               |                                              |                 |
|                                                                                        |           |                                              | üzemzavar (havaria)                             | 0,4                               |                                              |                 |
|                                                                                        |           | zaj                                          | a lerakó üzemelése                              | 0,7                               |                                              |                 |
|                                                                                        |           |                                              | csatlakozó utak                                 | 0,5                               |                                              |                 |
|                                                                                        |           | kőzetak                                      | 0,3                                             |                                   |                                              |                 |
|                                                                                        |           | szálló papír                                 | 0,4                                             |                                   |                                              |                 |
| Egyebek                                                                                | 9,6       | A talaj mint<br>építőanyag<br>megléte        | 2,6                                             | aljzat-és zárószigeteléshez       | 0,5                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 | üzem közbeni (napi)<br>takaráshoz | 1,5                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 | végző lezáráshoz                  | 0,6                                          |                 |
|                                                                                        |           | Építési<br>adottságok                        | 2,0                                             | az altalaj alkalmassága           | 1,0                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 | korlátozott lehetőségek           | 1,0                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 | tűzvész                           | 0,6                                          |                 |
|                                                                                        |           | Területalkalmasság<br>katasztrófa helyzetben | 2,1                                             | robbanás                          | 0,4                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 | felszínmozgás, földrengés         | 0,2                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 | szállítási baleset                | 0,5                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 | extrém időjárási viszonyok        | 0,4                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 | süllyedések                       | 1,0                                          |                 |
|                                                                                        |           |                                              |                                                 | csurgalékvíz és kezelése          | 0,9                                          |                 |
| A lerakó<br>bezárása<br>utáni<br>folyamatok<br>hatása a területre                      | 2,9       | felszíni vizek elvezetése                    | 0,7                                             |                                   |                                              |                 |
|                                                                                        |           | gázdrének                                    | 0,1                                             |                                   |                                              |                 |
|                                                                                        |           | gázhasznosítás                               | 0,2                                             |                                   |                                              |                 |
|                                                                                        |           | <b>Összesen</b>                              | <b>100</b>                                      | <b>100</b>                        |                                              |                 |

A terület hidrogeológiai adottságaira alapozva dolgozta ki értékelési módszerét Le GRAND-BROWN (FEHÉR, 1984.). A területet jellemző, számszerű paraméter kialakítása során négy olyan tulajdonságot javasolnak figyelembe venni, amelyek könnyen mérhetőek. Ezek a következők:

- a tárolóhelynek mint potenciális szennyezőforrásnak a távolsága a legközelebbi vízhasználati ponttól;
- a talajvízszint mélysége a lerakó fenékszintje alatt;
- a talajvíz hidraulikus nyomáskülönbsége;
- a szennyezőforrás alatti talaj vízáteresztő és szorpciós jellemzői.

A módszer alkalmazására vonatkozó részletes adatokat a **4.12. táblázat** tartalmazza. Le GRAND-BROWN a területértékelési rendszerüket veszélyeshulladék-lerakók helykiválasztására alkották meg, azonban az értékelési szempontokat figyelembe vehetjük kommunális hulladék-lerakók esetében is, amikor a terület természeti adottságait értékeljük. Ezen utóbbi esetben a 4. lépéshez tartozó értékelő táblázat jelentősen egyszerűsödik, hiszen az alapkőzet feletti talajréteg vastagságánál alapvetően csak a felszínközeli vízzáró réteg vastagsága a mértékadó.

**4.12. táblázat**

**Veszélyeshulladék-lerakó létesítésére figyelembe vett területek számszerű értékelése  
(Le GRAND-BROWN-MÓDSZER)**

**FONTOSABB HIDROGEOLOGIAI TÉNYEZŐK**

**1. lépés** Határozzuk meg a szennyezőforrás és a legközelebbi vízhasználati pont közötti távolságot! Jegyezzük fel a pontértéket!

|             |    |    |    |    |    |    |    |     |     |               |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|---------------|
| Pontérték   | 0  | 1  | 2* | 3  | 4  | 5  | 6  | 7   | 8   | 9             |
| Távolság, m | 40 | 15 | 20 | 30 | 45 | 60 | 90 | 150 | 300 | 750 vagy több |

Ha a talajvízszint áteresztő szilárd alapkőzetben (4. lépés II.) található, max. 2 pont számítható.

**2. lépés** Határozzuk meg a talajvízszint mélységét! Jegyezzük fel a pontértéket!

|                                                                                  |   |     |     |     |     |     |    |    |    |              |
|----------------------------------------------------------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|--------------|
| Pontérték                                                                        | 0 | 1   | 2*  | 3   | 4   | 5   | 6  | 7  | 8  | 9            |
| A talajvízszint mélysége, (m) a szennyezőforrás aljától az év több, mint 5%-ában | 0 | 0,6 | 1,2 | 2,1 | 4,5 | 7,5 | 15 | 23 | 30 | 60 vagy több |

Ha a talajvízszint áteresztő vagy mérsékelten áteresztő alapkőzetben (4. lépés II.) található, max. 2 pont számítható.

**3. lépés** Határozzuk meg a talajvízszint hidraulikus gradiensét a szennyezőhelytől számítva. Jegyezzük fel a pontértéket!

|                                                                                    |                                                                                                 |                                                                                                             |                                                                                                         |                                                                                                             |                            |                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pontérték                                                                          | 0                                                                                               | 1                                                                                                           | 2                                                                                                       | 3                                                                                                           | 4                          | 5                                                                                                      |
| A talajvízszint hidraulikus gradiense és a folyásirány határozza meg a pontértéket | A hidraulikus gradiens > 2% a vízhasznosítás irányában, és ez a várható talajvíz-áramlási irány | A hidraulikus gradiens > 2% a vízhasznosítás irányában, de ez nem egyezik meg a talajvíz-áramlási irányával | A hidraulikus gradiens < 2% a vízhasznosítás irányában, és ez meg egyezik a talajvíz-áramlási irányával | A hidraulikus gradiens < 2% a vízhasznosítás irányában, de ez nem egyezik meg a talajvíz-áramlási irányával | A hidraulikus gradiens ~ 0 | A hidraulikus gradiens iránya eltér minden olyan vízhasznosítási helytől, amely 750 m-nél közelebb van |

4.12. táblázat (folytatás)

Veszélyeshulladék-lerakó létesítésére figyelembe vett területek számszerű értékelése  
(Le GRAND-BROWN-MÓDSZER)

4. lépés Határozzuk meg a szennyezőforrás környezetére vonatkozó vízáteresztőképességi és szorpciós értéket! Jegyezzük fel a pontértékeket!

| Az alapkőzet feletti talaj vastagsága, m | T a l a j t í p u s |     |             |     |             |     |                      |     |                           |     |               |     |                                 |     |               |     |       |     |
|------------------------------------------|---------------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|----------------------|-----|---------------------------|-----|---------------|-----|---------------------------------|-----|---------------|-----|-------|-----|
|                                          | durva kavics        |     | durva homok |     | finom homok |     | homok kevés agyaggal |     | vékony homok-agyagrétegek |     | agyagos homok |     | homok és agyag egyenlő keveréke |     | homokos agyag |     | agyag |     |
|                                          | I.                  | II. | I.          | II. | I.          | II. | I.                   | II. | I.                        | II. | I.            | II. | I.                              | II. | I.            | II. | I.    | II. |
| > 30*                                    | 0A                  | 0A  | 0A          | 0A  | 2A          | 2A  | 4A                   | 4A  | 5A                        | 5A  | 6A            | 6A  | 7A                              | 7A  | 8A            | 8A  | 9A    | 9A  |
| 30                                       | 0B                  | 0J  | 0B          | 0J  | 2B          | 2D  | 4B                   | 3D  | 5B                        | 4H  | 5D            | 4K  | 7B                              | 5K  | 8B            | 6K  | 9B    | 6M  |
| 27                                       | 0B                  | 0J  | 0B          | 0J  | 2B          | 1E  | 4B                   | 3D  | 5B                        | 4H  | 5D            | 4K  | 6B                              | 5K  | 7C            | 5L  | 8C    | 6M  |
| 24                                       | 0C                  | 0K  | 0C          | 0K  | 2B          | 1E  | 4B                   | 3D  | 5B                        | 4H  | 5D            | 4K  | 6B                              | 4M  | 7C            | 5L  | 8C    | 5M  |
| 21                                       | 0C                  | 0L  | 0C          | 0L  | 2B          | 1F  | 4C                   | 3E  | 5C                        | 4J  | 5E            | 4L  | 6C                              | 4M  | 7D            | 4P  | 8D    | 5M  |
| 18                                       | 0D                  | 0L  | 0D          | 0L  | 2C          | 1F  | 4C                   | 2E  | 5C                        | 3G  | 5E            | 3J  | 6C                              | 4N  | 7D            | 4P  | 8D    | 5N  |
| 15                                       | 0D                  | 0M  | 0E          | 0M  | 2C          | 1G  | 4C                   | 2E  | 4D                        | 3G  | 5F            | 3J  | 6D                              | 3J  | 7E            | 4Q  | 8E    | 4R  |
| 12                                       | 0E                  | 0M  | 0E          | 0M  | 1B          | 0S  | 4D                   | 2F  | 4E                        | 3H  | 5F            | 3K  | 6E                              | 3K  | 6C            | 4Q  | 7F    | 4S  |
| 9                                        | 0F                  | 0N  | 0F          | 0N  | 1C          | 0T  | 3B                   | 2F  | 4F                        | 3H  | 5G            | 2G  | 6F                              | 2J  | 6C            | 3L  | 7G    | 3M  |
| 6                                        | 0G                  | 0P  | 0G          | 0P  | 1D          | 0U  | 3C                   | 1H  | 4G                        | 2G  | 5H            | 2H  | 5H                              | 2K  | 6H            | 2L  | 7H    | 3N  |
| 3                                        | 0H                  | 0Q  | 0H          | 0Q  | 0Q          | 0V  | 2D                   | 1J  | 3F                        | 1J  | 4G            | 1J  | 5J                              | 1K  | 6J            | 1L  | 6L    | 2M  |
| 0**                                      | 5Z                  | 0Z  | 5Z          | 0Z  | 5Z          | 0Z  | 5Z                   | 0Z  | 5Z                        | 0Z  | 5Z            | 0Z  | 5Z                              | 0Z  | 5Z            | 0Z  | 5Z    | 0Z  |

I. Az alapkőzet pala vagy más kis vízáteresztő képességű kőzet.

II. Az alapkőzet áteresztő vagy közepesen áteresztő (egyes bazaltfélések, erősen töredezett vulkáni vagy metamorf kőzetek, üreges karbonátos kőzetek, valamint vetődési zónák).

\* Az A jel azt jelenti, hogy a nagy mélység miatt az alapkőzetet nem kell figyelembe venni.

\*\* A Z-jel azt jelenti, hogy az alapkőzet a felszínen van, azaz nincs talajréteg felette.

A pontértékeket a táblázatból állapítjuk meg. A pontértékeket az alapkőzet feletti talaj tulajdonságai határozzák meg. Több fajta talaj esetén a pontértékeket interpolálni kell. Egy-egy betű 0,05 pontértékkal módosítja a pontszámot (pl. 15 m mélységben agyag és I. alapkőzet esetén a minősítés 8E, azaz  $8 - 0,2 = 7,8$  pont).

5. lépés Adjuk össze az 1...4. lépésekben kapott pontértékeket! Jegyezzük fel az össz-pontértékeket!

| Össz-pontérték                                          | 0...5 6...7                                                                 | 8...13                                    | 14...20                                      | 21...25                                             | 26...32                                          |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Lerakóhely minősítése a hidrogeológiai tényezők alapján | IGEN GYENGE-GYENGE, tekintve, hogy valamelyik tényező értéke kisebb, mint 2 | KÖZEPES, ha egyik értékszám sincs 2 alatt | JÓ, ha minden értékszám 3 vagy annál nagyobb | NAGYON JÓ, ha minden értékszám 3 vagy annál nagyobb | KIVÁLÓ, ha minden értékszám 3 vagy annál nagyobb |

SPECIÁLIS TERÜLETI JELLEMZŐK

6. lépés A víztartó réteg érzékenysége (Válasszuk ki a megfelelő kategóriát!)

| A                                                                            | B                                                                                                                                  | C                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kiterjedt víztartó réteg, nagy vízáteresztőképességű és könnyen szennyeződik | Közepes vízáteresztő képességű, víztartó réteg, mely nem valószínű, hogy nagy területen elszennyeződik egyetlen szennyezőforrástól | Kis vízáteresztő képességű, korlátozott kiterjedésű víztartó réteg és kicsi a valószínűsége annak, hogy a szennyező forrástól elszennyeződik |

7. lépés A besorolási értékek pontosságának megbízhatósági foka (Válasszuk ki a megfelelő kategóriát!)

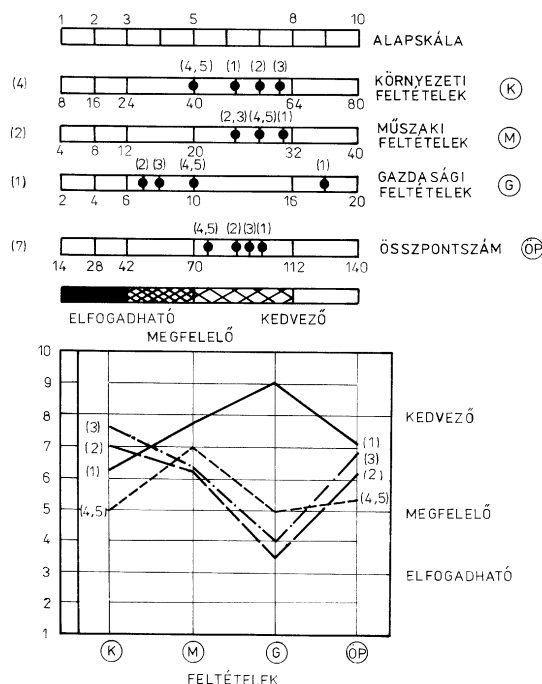
| A                                                                                                                | B                       | C                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A paraméterekre adott értékek megbízhatósága nagy és a becsült besorolásokat meglehetősen pontosnak tekinthetjük | A megbízhatóság közepes | A paraméterekre adott értékek megbízhatósága kicsi, és a becsült besorolásokat nem tekinthetjük pontosnak |

8. lépés Ha a terület megfelel, egyéb geológiai és hidrogeológiai jellemzők vizsgálatát kell elvégezni. A tárolóhelyet a számszerű adatok, valamint a speciális területi jellemzők alapján értékeljük.

A fentiekől némileg kevesebb tényező figyelembevételével történő területértékelésre mutat be példát a **4.13. táblázat** TOMBÁ CZ-RADNAI (1989.) munkája nyomán. Az egyes tényezőkre adható maximális pontszám 10 volt és mindegyik azonos súllyal szerepelt az értékelésben. A **4.8. ábra** a grafikus értékeléssel a táblázat adatait még szemléletesebbé teszi, megkönnyítve ezzel a számításba jöhető területek rangsorolását.

4.13. táblázat

| <i>Egy Pécs környéki tervezett hulladékfeldolgozó elhelyezésére számításba jöhető területek értékelése<br/>(TOMBÁ CZ-RADNAI, 1989.)</i> |           |           |           |           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Értékelési<br>szempontok                                                                                                                | Területek |           |           |           |           |
|                                                                                                                                         | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         |
| <b>I. Környezeti feltételek</b>                                                                                                         |           |           |           |           |           |
| <i>A./ Levegőtisztaságvédelem</i>                                                                                                       |           |           |           |           |           |
| 1) Tényleges szennyezettség                                                                                                             | 2         | 5         | 8         | 5         | 5         |
| 2) Terhelhetőség                                                                                                                        | 5         | 8         | 10        | 8         | 8         |
| 3) Uralkodó szélirány                                                                                                                   | 8         | 10        | 10        | 10        | 10        |
| <i>B./ Víz tisztaságvédelem</i>                                                                                                         |           |           |           |           |           |
| 4) Felszíni befogadó védettsége                                                                                                         | 5         | 2         | 8         | 2         | 2         |
| 5) Felszíni víz terhelhetősége                                                                                                          | 5         | 3         | 2         | 2         | 2         |
| 6) Felszín alatti vizek védelme                                                                                                         | 5         | 10        | 10        | 2         | 2         |
| <i>C./7. Termőterületek védelme</i>                                                                                                     | 10        | 10        | 5         | 1         | 1         |
| <i>D./8. Beépítés, domborzat</i>                                                                                                        | 10        | 8         | 8         | 10        | 10        |
| 1-8. Összesen:                                                                                                                          | 50        | 56        | 61        | 40        | 40        |
| <b>II. Műszaki feltételek</b>                                                                                                           |           |           |           |           |           |
| 9) Villamos energia                                                                                                                     | 8         | 8         | 10        | 8         | 8         |
| 10) Nyersvíz biztosítása                                                                                                                | 10        | 5         | 3         | 2         | 2         |
| 11) Megközelítés (közút)                                                                                                                | 5         | 10        | 10        | 10        | 0         |
| 12) Megközelítés (vasút)                                                                                                                | 8         | 2         | 2         | 8         | 8         |
| 9-12. Összesen:                                                                                                                         | 31        | 25        | 25        | 28        | 28        |
| <b>III. Gazdasági feltételek</b>                                                                                                        |           |           |           |           |           |
| 13) Létesítési költségek                                                                                                                | 8         | 5         | 5         | 5         | 5         |
| 14) Szállítási költségek                                                                                                                | 10        | 2         | 3         | 5         | 5         |
| 13-14. Összesen:                                                                                                                        | 18        | 7         | 8         | 10        | 10        |
| <b>1-14. ÖSSZESEN:</b>                                                                                                                  | <b>99</b> | <b>88</b> | <b>94</b> | <b>78</b> | <b>78</b> |



4.8. ábra

A környezeti, műszaki és gazdasági feltételek értékelése egy Pécs környéki tervezett hulladékfeldolgozó elhelyezésére számításba jehető területek esetében (TOMBÁ CZ - RADNAI, 1989.)

A hazai szakemberek közül a veszélyeshulladék-lerakóhelyek geológiai, hidrogeológiai szempontból való kiválasztására BOHN (1982.) javasolt pontozásos értékelést, aki a geológiai képződmény alkalmasságának megítélésére a következő jelenségcsoportokat vette figyelembe:

|        | a) Geomorfológiai viszonyok                                                                                                                              | b) A kőzettest térbeli kiterjedése, vertikális és horizontális homogenitása                                                                                                                   |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>– 12 fok feletti maximális lejtőkategória,</li> <li>– antropogén feltöltés.</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>– 10 m-t el nem érő összletvastagság,</li> <li>– lencsés kifejlődés,</li> <li>– inhomogén kőzettani összetétel.</li> </ul>                             |
| 1 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>– 10...12 fok közötti maximális lejtőkategória,</li> <li>– alluviális feltöltés.</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>– 10...15 m összletvastagság,</li> <li>– lencsés kifejlődés,</li> <li>– kissé inhomogén kőzettani összetétel.</li> </ul>                               |
| 2 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>– 8...10 fok közötti maximális lejtőkategória,</li> <li>– diluviális feltöltés.</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>– 15...20 m összletvastagság,</li> <li>– lencsés kifejlődés,</li> <li>– közel állandó kőzettani összetétel.</li> </ul>                                 |
| 3 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>– 5...8 fok közötti maximális lejtőkategória,</li> <li>– konszolidálódott, negyedkori térszín.</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>– 15...20 m összletvastagság</li> <li>– réteges vagy rétegmentes, de nem lencsés kifejlődés,</li> <li>– közel állandó kőzettani összetétel.</li> </ul> |
| 4 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>– 3...5 fok közötti maximális lejtőkategória,</li> <li>– konszolidálódott, újharmadkori térszín.</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>– 20 m-t meghaladó összletvastagság,</li> <li>– horizontális szintálló rétegződés,</li> <li>– közel állandó kőzettani összetétel.</li> </ul>           |
| 5 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>– 3 fok alatti maximális lejtőkategória</li> <li>– konszolidálódott, óharmadkori vagy idősebb térszín.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– 30 m-t meghaladó összletvastagság,</li> <li>– horizontálisan és vertikálisan homogén kőzetösszetétel,</li> </ul>                                     |

|        | c) Kőzettani és ásványos összetétel, pirittartalom                                                                                                                                                                                                                                   | d) Szemcseszerkezeti és talajmechanikai tulajdonságok (tömörség, porozitás, áteresztőképesség, stb.)                                                                                  |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>- laza, törmelékes, főleg kvarcanyagú, földpátos és csillámos összetétel,</li> <li>- agyagásvány-mentesség,</li> <li>- nagy pirittartalom,</li> <li>- nagyszemcsés karbonáttartalom (breccsia, homok, homokkő, laza konglomerátum)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- uralkodó szemcseátmérő: 0,6 mm felett,</li> <li>- szivárgási tényező: <math>&lt; 2 \cdot 10^{-5}</math> m/s</li> </ul>                       |
| 1 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>- laza törmelékes, uralkodóan földpát kvarc összetétel (80%-ban)</li> <li>- a földpát mellett agyagásványok is megjelennek (5...8%),</li> <li>- pirit és szemcsés karbonát is előfordul (12...15% finom homok, laza homokkő)</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- uralkodó szemcseátmérő: 0,6...0,1 mm között</li> <li>- szivárgási tényező: <math>2 \times 10^{-5} &gt; k &gt; 10^{-5}</math> m/s.</li> </ul> |
| 2 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>- kissé kötött törmelékes kőzetek,</li> <li>- diszperz mésztartalom,</li> <li>- 10...15% agyagásvány-tartalommal (finomhomokos, aleuritos kőzetek)</li> </ul>                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- uralkodó szemcseátmérő: 0,1...0,02 mm között,</li> <li>- szivárgási tényező: <math>10^{-5} &gt; k &gt; 10^{-6}</math> m/s.</li> </ul>        |
| 3 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>- meszes, agyagos cementációjú, törmelékes kőzetösszetétel,</li> <li>- 5% alatti pirittartalommal (aleuritos, finomhomokos, agyagos kőzetek, tufák)</li> </ul>                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- uralkodó szemcseátmérő: 0,08...0,002 mm között,</li> <li>- szivárgási tényező: <math>10^{-6} &gt; k &gt; 10^{-8}</math> m/s.</li> </ul>      |
| 4 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>- nagy agyagásvány-tartalmú, finom diszperz kőzetalkotókból álló ásványos összetétel,</li> <li>- törmelékes és vegyi kiválasztású kőzetanyag (kőzetlisztes agyag, márga, bentonitosodott tufa)</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- uralkodó szemcseátmérő: 0,0002...0,0001 mm között,</li> <li>- szivárgási tényező: <math>10^{-8} &gt; k &gt; 10^{-10}</math> m/s.</li> </ul>  |
| 5 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>- uralkodóan agyagásványokból és ezenkívül egyéb finom diszperz kőzetalkotókból álló elsődlegesen vegyi kiválású vagy másodlagosan bontott kőzetek (agyag, agyagmárga, bentonit, kaolinit)</li> </ul>                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- uralkodó szemcseátmérő: 0,0001 mm alatt,</li> <li>- szivárgási tényező: <math>10^{-8} \dots 10^{-10}</math> m/s alatt).</li> </ul>           |

|        | e) Makrostrukturális paraméterek (rétegzettség, repedezettség, üregesség): porózus, lyukacsos, kőzetréses, repedezett, karsztosodott vagy milonitos makrostruktúra (jellegük közül legalább kettő előfordul nagy sűrűséggel) | f) Tektonikai viszonyok                                                                                                                                 |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0 pont |                                                                                                                                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- széles vetőzóna által érintett képződmények, meredek, 20 fok feletti dőlés.</li> </ul>                         |
| 1 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>- a makrostrukturális jellegük közül valamelyik nagy sűrűséggel előfordul</li> </ul>                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- keskeny vetőzóna által érintett képződmények, 10...20 fokos rétegződés.</li> </ul>                             |
| 2 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>- a makrostrukturális jellegük közül legalább kettő viszonylag sűrűn előfordul.</li> </ul>                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- egy-egy kisebb vetőmagasságú tektonikai egységre szabott képződmények, 10...15 fokos rétegdőlés.</li> </ul>    |
| 3 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>- a makrostrukturális jellegük közül egy viszonylag sűrűn előfordul.</li> </ul>                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- egy-két kisebb vető vagy hajlított szerkezeti elem által érintett összlet, 5...10 fokos rétegdőlés.</li> </ul> |
| 4 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>- a makrostrukturális jellegük közül egy vagy kettő ritkán fordul elő.</li> </ul>                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- vetőmentes, esetleg enyhén hajlított szerkezeti elemmel érintett összlet, 0...5 fokos rétegdőlés.</li> </ul>   |
| 5 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>- a makrostrukturális jellegük közül legfeljebb egy fordul elő igen ritkán.</li> </ul>                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- tektonikai elemektől mentes összlet, vízszintes rétegződés.</li> </ul>                                         |

|        | <i>g) Felszínmozgási viszonyok</i>                                                                                                                                                                                                                                              | <i>h) A terület alatt és közvetlen környezetében levő esetleges ásványi nyersanyag-előfordulás</i>                                                                                                                  |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>– konszolidálatlan, természetes állapotában instabil, suvadásos, roskadásos, atektonikus mozgásokkal érintett térszín;</li> <li>– felületi talajleomosásnak, talajfolyásnak, rogyásnak, csuszamlásveszélyeknek kitett terület</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– a terület alatt vagy közvetlen környékén ismert, kategorizált, jelentősebb népgazdasági értéket képviselő nyersanyag-előfordulás van.</li> </ul>                           |
| 1 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>– gyengén konszolidálódott, régebbi tektonikus mozgásjegyekre utaló térszín;</li> <li>– szélsőséges természeti okokból kiújuló csuszamlás, rogyás, suvadás veszélye</li> </ul>                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>– a terület alatt vagy közvetlen környékén prognosztikusan kimutatott, reménybeli jelentős potenciális népgazdasági érdeket képviselő nyersanyag-előfordulás van.</li> </ul> |
| 2 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>– természetes állapotában konszolidálódott, de már kisebb mértékű mesterséges beavatkozás következtében is potenciálisan atektonikus mozgásveszéllyel fenyegetett terület</li> </ul>                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>– a terület alatt sem kategorizált, sem reménybeli nyersanyag-előfordulás nincs, környékén azonban jelentősebb kategorizált ásványvagyron ismert.</li> </ul>                 |
| 3 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>– természetes állapotában konszolidálódott és csak nagymértékű mesterséges beavatkozás esetén létrejövő atektonikai mozgásveszéllyel fenyegetett terület</li> </ul>                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>– csak a terület környékén van esetleges reménybeli jelentősebb nyersanyag-előfordulás prognosztizálására lehetőség.</li> </ul>                                              |
| 4 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>– konszolidálódott térszín, bármilyen szakszerű mesterséges beavatkozás esetén is csak jelentéktelen atektonikai mozgásveszély jöhet létre.</li> </ul>                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– a terület távolabbi környékén is csak kisebb jelentőségű reménybeli nyersanyag-előfordulás tételezhető fel (pl. építőanyag).</li> </ul>                                    |
| 5 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>– szakszerűen végzett mindennemű mesterséges beavatkozás esetén is kizárt az atektonikus mozgások kialakulásának lehetősége.</li> </ul>                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– sem a terület alatt, sem távolabbi környékén nem prognosztizálható semmilyen ásványi nyersanyag-előfordulás.</li> </ul>                                                    |

|        | <i>j) Hidrogeológiai viszonyok</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>– felszíni, állandó élő vízfolyással érintett terület,</li> <li>– a talajvízszint 0...10 m között,</li> <li>– laterális áramlás kimutatható,</li> <li>– hidrogeológiai összefüggés a mélyebb rétegekkel,</li> <li>– a kőzetrétegek természetes víztartalma 30% fölötti.</li> </ul>          |
| 1 pont | <ul style="list-style-type: none"> <li>– felszíni időszakos vízfolyással érintett terület,</li> <li>– a talajvízszint 10...20 m között,</li> <li>– jelentősebb laterális áramlás nélkül,</li> <li>– gyenge kommunikációs viszonyok a mélyebb rétegekkel,</li> <li>– a kőzetrétegek természetes víztartalma 30% fölötti.</li> </ul> |

Természetesen önmagában a pontérték nem lehet döntő paraméter, mert a területalkalmasság szempontjából vannak kizáró feltételek is.

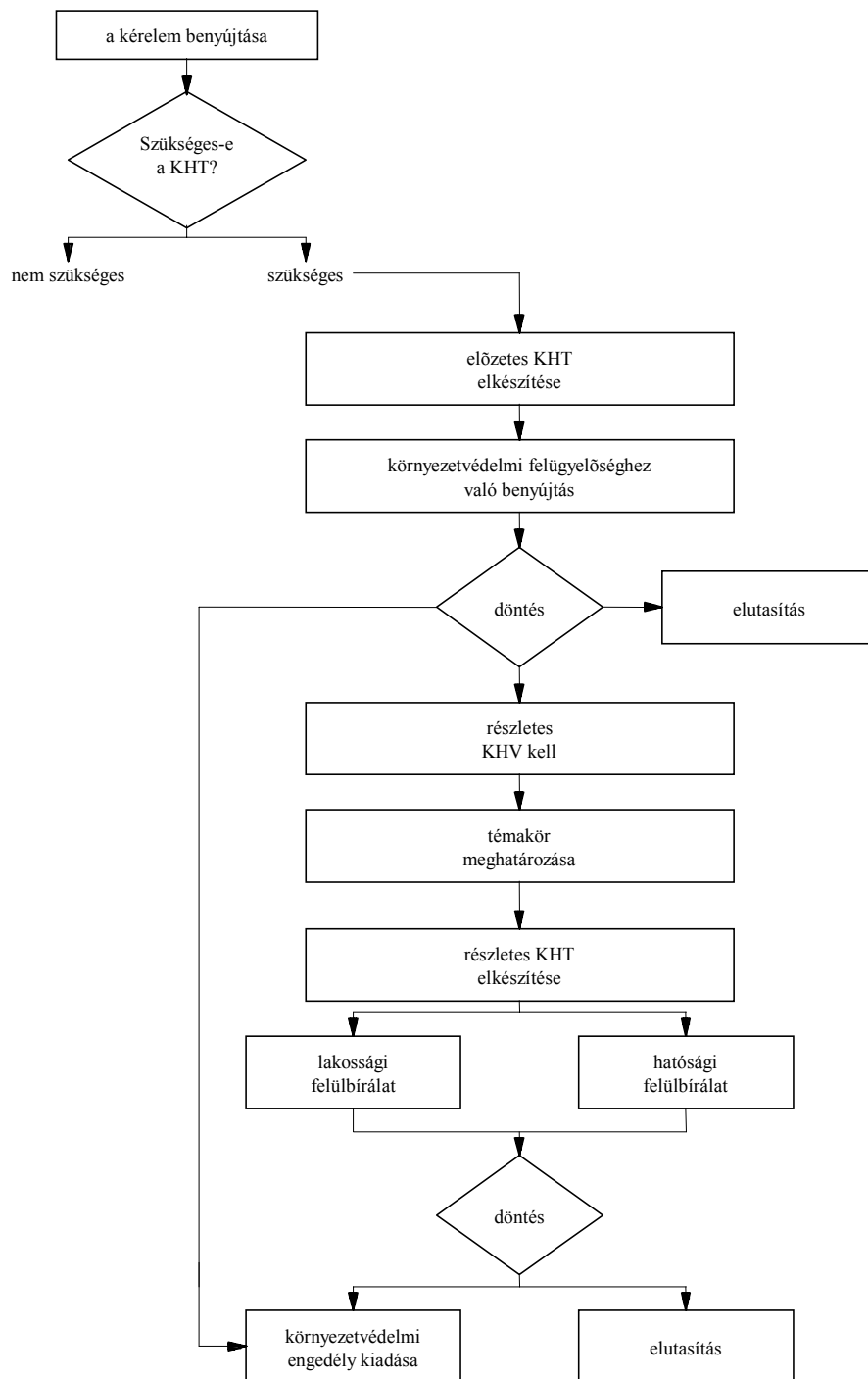
#### **4.6. A hulladéklerakók létesítésének környezeti hatásvizsgálata**

A 152/1995. (XII.12.) Korm. rendelet új engedélyezési eljárást vezetett be. A környezeti hatásvizsgálati eljárás (KHV) a jogszabály 1. sz. mellékletében felsorolt tevékenységek esetében egy minden más engedélyezési eljárást megelőző tevékenység.

A *KHV célja*, hogy a környezetre jelentős mértékben hatást gyakorló tevékenység megkezdése, illetve módosítása előtt felmérje, illetőleg előre jelezze a tevékenység által várhatóan okozott környezeti hatásokat.

A következőkben vázlatosan áttekintjük a KHV folyamatát, részletesen tárgyalva a hulladéklerakók helykijelölésével és létesítésével kapcsolatos teendőket, szakmai követelményeket. A környezeti hatásvizsgálati eljárás folyamatát a **4.9. ábra** szemlélteti.





**4.9. ábra**  
A KHV-eljárás folyamata  
(ÖKO Rt., 1994.)

#### **4.6.1. A KHV során használt fogalmak**

– *Környezeti hatásvizsgálat (KHV):*

Az a döntéselőkészítő munkafolyamat, amely valamilyen tervezett emberi tevékenység következtében a környezet állapotában beálló változásokat becsüli és értékeli. E folyamat a hatásvizsgálatra való kötelezéssel indul és a döntéshozattal zárul.

– *Környezeti hatástanulmány (KHT):*

A KHV folyamán készített szakmai dokumentumok, amelyek egyeztetések és az érdekeltekkel való tárgyalások után kapnak végleges formát és tartalmat és amelyek a döntés tényleges szakmai megalapozását jelentik.

– *Környezeti elemek:*

- = föld (talaj, ásványi anyagok, alapkőzet),
- = víz (felszíni víz, vízfolyásmeder, felszín alatti vizek: talajvíz, rétegvíz, karsztvíz),
- = levegő (a földet körülvevő gázburrok),
- = élővilág (a környezet élő elemei),
- = épített vagy művi elemek (építmények, létesítmények).

– *Környezeti rendszerek:*

- = ökoszisztémák (élőlényfajok és élettelen környezetük),
- = települési környezet (mint az emberi élet színtere),
- = táj (természeti és művi elemek rendszere, a környezet egészének ember- szempontú értelmezése).

– *Hatótényező:*

Az emberi tevékenységek azon, önálló kategóriaként kezelhető részei, amelyek a környezeti elemek állapotváltozásának eredeti okaként megjelennek. A hatótényező lehet a telepítési hely eredeti állapotának, használatának megváltozása, vagy a beruházás megvalósítása, működése, felhagyása közben keletkező valamely anyag- és energiakibocsátás és/vagy -elvonás.

– *Környezeti hatás:*

A hatótényező által kiváltott, az egyes környezeti elem valamelyik tulajdonságában, illetve a környezet egészében beállt változás. A hatás lehet *közvetlen*, ha a hatótényező és az érintett környezeti elem között nincs közvetítő közeg, illetve *közvetett*, ha a hatótényező által okozott változás közvetítő közegen keresztül jön létre.

– *Hatásviselő:*

Az a környezeti elem vagy rendszer, amelynek állapotában a változások érzékelhetők, kimutathatók és a kimutathatóság alapján a változás értékelhető.

– *Hatásfolyamat:*

A hatótényezőktől kiinduló olyan folyamat, amely térben és időben terjedve környezeti állapotváltozásokat (hatásokat) eredményez, figyelembe véve az egyes elemeknél megjelenő állapotváltozások egymásrahatását is. Ez végeredményben a hatótényezők és a hatásviselők közötti ok-okozati kapcsolatrendszer.

– *Teljes hatásterület:*

A földkéreg, a földfelszín és a légkör azon része, ahol a vizsgált tevékenység hatótényezői által okozott állapotváltozások érzékelhetők és értelmezhetők. Megkülönböztetünk kibocsátási és elemenkénti hatásterületeket. Egy hatótényező (vagy hatótényező csoport) által érintett terület a kibocsátási hatásterület. Az összes hatótényező által egyetlen környezeti elem állapotában okozott változások területe az elemenkénti hatásterület. Mind az elemenkénti, mind a kibocsátási hatásterületek összesítve ugyanazt a teljes hatásterületet rajzolják ki.

– *Kontroll környezet:*

A teljes hatásterületen a környezet állapota, minősége a tervezett tevékenységek nélkül. Ennek csak kiinduló pontja a jelen állapot. Amennyiben lehetséges, figyelembe kell venni a hatásterületnek a tevékenységek nélküli, egy későbbi időpontra előrejelzett állapotát és az egyes területfejlesztési alternatívák eltérő következményeit is.

– *Háttérhatás:*

A hatásterület tervezett tevékenységtől függetlenül létező olyan állapotjellemzője, amely kimutathatóan befolyásolja a tevékenység miatt létrejövő környezeti hatásokat.

### 4.6.2. *A környezeti hatások becslésének és értékelésének általános menete*

Az állapotváltozások vizsgálatának a menete általában minden környezeti hatástanulmányban azonos, függetlenül a vonatkozó jogszabálytól, a környezetpolitikától és a meglévő szervezeti rendszertől (ÖKO Rt, 1994.):

1. A környezet állapotának a meghatározása.
2. A hatótényezők meghatározása.
3. A hatásviselők számításba vétele.
4. A hatásfolyamatok becslése.
5. Az állapotváltozások becslése.
6. Az állapotváltozások hatásának értékelése.

### 4.6.3. *A hatástanulmányban vizsgálandó, tisztázandó problémák*

A hulladéklerakók létesítésével kapcsolatos KHV-nak ki kell terjednie:

- a lerakó megvalósításának, *építésének* a környezetre gyakorolt hatására,
- a lerakó és létesítményei *üzemelésének* hatásaira a teljes működési időt figyelembe véve,
- a lerakó *bezárását*, rekultivációját *követő időszak alatt lejátszódó folyamatokra* és azok hatásaira,
- az előző fázisok bármelyikében bekövetkező *üzemzavar, meghibásodás* hatásaira.

A környezeti hatásvizsgálat folyamán általában két tanulmány készül. Az első az úgynevezett *előzetes környezeti hatástanulmány* (megkülönböztetésül eKHT), amelynek összeállítására a tervezés korai fázisában kerül sor. E tanulmány célja - a telepítéssel kapcsolatban már ekkor rendelkezésre álló információk alapján - a várhatóan számottevő hatások kiválasztása, különös tekintettel azokra, amelyek befolyásolására a beruházási folyamat későbbi fázisában már kevésbé van mód. Ilyen például a telepítési hely megválasztása. Az előzetes hatástanulmányban meg kell fogalmazni a *részletes tanulmány* konkrét tartalmi követelményeit is. Az előzetes hatásvizsgálat ad leginkább módot a káros környezeti hatások megelőzésére vagy mérséklésére. Az ilyen

szinten (pl. telepítés) születő rossz döntések káros környezeti következményeit jóval nehezebb elhárítani, mint megelőzni.

A hatástanulmány összeállításánál a környezet állapotának és a hatásterületnek a meghatározásánál a hatásfolyamatok és állapotváltozások becslésénél *környezeti elemenként vizsgálni kell ill. meg kell határozni a következőket* (ÖKO Rt, 1994.; TOMBÁ CZ-RADNAI, 1989.; MI-13-45-1990):

a) *Levegő*

- A tervezett lerakó és kapcsolódó létesítményei (pl. égetőmű, gázhasznosítás) várható légszennyező kibocsátásai, a kibocsátott szennyezőanyagok mennyisége és minőségi jellemzői, a legkisebb kibocsátással járó változat.
- A kiporzás és csökkentésének a lehetőségei.
- A kibocsátások meteorológiai és terepviszonyoktól függő terjedése, a légszennyezés által érintett hatásterület.
- A hatásterület levegőminőségi alapállapota, a lerakó működtetése következtében várható módosulás.
- A hatásterületen meglévő egyéb lényeges légszennyező források (ipari, közlekedési, lakossági) kibocsátásai és azok várható alakulása, ezeknek a levegőminőségre gyakorolt hatása, valamint a minőség várható alakulása a beruházástól függetlenül (a háttérterhelés jellemzői).
- A veszélyeztetett állományok, populációk megjelölése.
- A légszennyező forrás kibocsátását csökkentő műszaki megoldások.
- A hatásterület levegő minőségét legkevésbé zavaró technológiai változat.
- Az ellenőrző rendszer kialakítása, a mérések gyakorisága, rendje.
- Egy esetleges üzemzavar folytán bekövetkező légszennyezés esetében szükséges és tervezett intézkedések.

b) *Vizek*

A hulladéklerakók környezeti hatásai közül az egyik legkritikusabb a felszíni, de főleg a felszín alatti vizekre gyakorolt hatás vizsgálata. Ennek megfelelően vizsgálandó:

- A terület vízföldtani viszonyai, az altalaj áteresztőképessége, a talajvíz, rétegvíz térbeli helyzete, áramlási iránya. Az egyes vízállások tartóssága.
- A terület vízminősége.
- A lerakóból esetleg kijutó szennyezés terjedésének törvényszerűségei, a szennyezés terjedés időbeni alakulása, a hatásterület lehatárolása.
- Az egyes elemek mobilitása, megkötődése, lebomlása, a talajvíz-szennyezés által érintett hatásterület időbeli alakulása.
- A lerakó és létesítményeinek hatása a terület talajvízállására, az áramlási irányra.
- A hatásterületen lévő egyéb vízszennyező források.
- A hatásterületen lévő talajvíz, rétegvíz és az azokra telepített vízbeszerző létesítmények vízminősége, a vízminőség időbeli alakulása, a háttérterhelés jellemzői.
- Az érintett vízbázisok védőterülete, a víztermelésük alakulása a lerakó üzemelése és bezárása utáni időszakaszban, a várható vízigény és azok kielégítése, a vízbázis fejlesztése.
- A vízminőség várható alakulása.
- A megfelelő biztonságot nyújtó szigetelőrendszer felépítése.

- A felszínről lefolyó vizek mennyisége, minősége, összegyűjtése.
- A felszíni vízrendezés. A lefolyó vizek szennyeződésének a lehetősége normál üzemmenet és üzemzavar esetén.
- A hatásterületen lévő vízhasználatok, a szennyvizek elhelyezése, az állapotok várható alakulása.
- A csurgalékvíz várható mennyisége, összetétele (üzemi állapotban, napi takarás és végső lezárás esetén).
- A csurgalékvíz mennyiségének az alakulása a lerakó bezárása után.
- A csurgalékvíz és a szigetelőréteg kompatibilitása, az alkalmazott szigetelőanyagok időállósága.
- A lerakóból kijutó csurgalékvíz mennyisége üzemi állapotban és üzemzavar esetén (agyag szigetelőréteg-, geomembrán megsérül).
- A csurgalékvíz kezelése, tisztítása, a befogadóba juttatás feltételei. Visszapermetezés esetén a vízminőség várható alakulása.
- A szennyezést csökkentő intézkedések lehetőségei, az elérhető legjobb hatásfok biztosítása.
- Az ellenőrző rendszer kialakítása, a megfigyelések rendje és gyakorisága.
- A térségben alkalmazott egyéb vízvédelmi intézkedések és azok más környezeti elemekkel való kölcsönhatása.
- A potenciális szennyező forrásnál váratlanul fellépő, illetve üzemzavar folytán bekövetkező szennyezés esetében szükséges és tervezett intézkedések.

#### c) Talaj

A hulladéklerakók létesítésének területigénye általában nagy, többnyire több tíz hektár, így meg kell határozni az alábbiakat:

- A meglévő földhasználatok, a földhasználatban beálló változások.
- A talajok szennyeződésérzékenysége.
- A kitermelt termőtalaj hasznosítása, visszatermelésének módja.
- A megváltozott terep és lefolyási viszonyok következményei az esetlegesen okozott talajvízszint-változás talajminőséget módosító hatásai.
- A talaj esetleges ártétegződése, tömörödése, szerkezet átalakulása okozta hatás.
- A talajok szél- és vízeróziójának változása.
- A mezőgazdasági termékszerkezet változtatás adta lehetőségek vizsgálata.
- A földtani kutatások során mélyített fúrások, feltárások további sorsa (véglegesítés, eltömedékelés, észlelőkúttá alakítás).
- Az építési földmunkák anyagnyerőhelyei, deponálási lehetőségek.
- Az időközi takarás, végleges lezárás földanyagának biztosítása.
- A földmunkához szükséges anyag szállítása, a szállítójárművek talajtömörítő, talajszerkezetátalakító hatása.
- A megvalósítás és működtetés során használt (alkalmazott) szállítóeszközök, berendezések, gépek, stb. talajszennyező hatása.
- A lerakó működése során keletkező por talajszennyező hatása.
- A csurgalékvizek esetleges talajszennyező hatása, a szennyezés viselkedése a telítetlen zónában.
- A hatásterület más szennyezőforrásai.
- A megváltozott talajminőség hatásai az ökoszisztémákra.

d) *Élővilág*

- A hatásterület élőlénytársulásainak feltérképezése, azok értékessége, a jelenlevő fajok értékességének, ritkaságának vizsgálata.
- A társulások, állat- és növényfajok területről való eltűnésének következményei (következmények a táplálékláncban, a mikroklímában, a környezetkondicionálásban, a talajvízháztartásban, a talajvíz-dinamikában).
- A levegőbe jutó gáznemű szennyezőanyagok növényzetre való hatása (heveny és krónikus károsodások), mind a fajok mind a társulások szintjén.
- A levegőbe jutó gáznemű szennyezőanyagok állatvilágra gyakorolt hatása.
- A levegőbe jutó szilárd szennyezéseknek a növényfelületre, illetve az állatokra való hatása.
- A zaj és rezgésterhelés hatása a növényi és állati életlehetőségekre.
- A vízszennyezések hatása a talajokra, talajvizekre és ezeken keresztül a növény- és állatvilágra.
- A talajvízháztartás változásainak hatása a szárazföldi vegetációra, különös tekintettel a vízfüggő társulásokra.
- A talajélet átstrukturálódása.
- A talajok vízgazdálkodási és szerkezeti változásai és az ezen keresztül történő vegetáció módosulás.
- A térség fajdiverzitásában vagy bármely faj számában történő változások.

e) *Ember*

- A meglévő környezetállapot és egészségügyi állapot közötti ok-okozati viszonyok.
- A hatások kritikus pontjai, a halmozott hatások együttes következményei.
- Az egyidejűleg jelentkező zavaró hatások bekövetkezésének a valószínűsége, a szükséges teendők (esetleges korlátozó intézkedések) meghatározása.
- A hatótényezők életmódváltoztató következményei.
- A hatások kompenzálhatósága, kivédhetősége.
- Az emberi egészségre nézve legkedvezőbb alternatíva és telepítési lehetőség.
- A mérő, ellenőrző rendszer, a mérendő paraméterek, a mérések gyakorisága.
- Az érintett lakosság életmódjában bekövetkező változások, esetleges korlátozó intézkedések.
- Az előnyök és hátrányok mérlegelése.
- A lakosság fogadókészsége, pszichológiai hatások.

f) *Művi elemek*

A hulladéklerakók telepítésénél be kell tartani az OÉSZ-ben előírt *védőtávolságokat*, azonban még azok megléte esetén is (hiánya esetén feltétlenül) vizsgálni kell a következőket:

- A lakófunkció és az emberi életvitel zavarása a hulladékszállítás során, a lerakó üzemelése és egy esetleges üzemzavar esetén.
- Megközelítési alternatívák.
- A szállítójárművek okozta forgalomnövekedés hatásai az utak teherbírására, az építmények állagára (különösen a régi és műemlék épületek esetében). Zaj-, és rezgésterhelés növekedés, porterhelés, levegőszennyezés.

- A munkagépek által keltett zajhatások és rezgések, a megengedhető zaj- és rezgésterhelés betartására hozandó intézkedések.
- Az esetleges kedvezőtlen hatások (valós vagy vélt) okozta ingatlan értékcsökkenés, várható kártérítési igények.
- A lakott területek zöldterületeinek a védelme az építés és a működés, valamint a szállítás időtartamára.
- A terepből kiemelkedő depónia esztétikai illeszkedése, elfogadhatósága.
- Az építési és szállítási időszak zavaró hatásai, különösen az üdülési, egészségügyi és lakófunkciót betöltő térségekben.
- Az építés és szállítás során megnövekedett forgalom és a települési közlekedési funkciók összehangolása.
- A település átszellőzési viszonyai, szaghatás.
- A lerakó közműveinek csatlakozási lehetősége a meglévő hálózathoz. A meglévő hálózat terhelhetősége.
- A telefonvonal kiépítési lehetősége.
- Az emberi életkörülményekre gyakorolt végleges hatások.
- A település fejlődésével, a térség fejlesztésével való összhang.

#### g) Zaj és rezgés

- A hatásterületen lévő a zaj és rezgés ellen védelmet igénylő létesítmények, a zaj- és rezgésterhelés változása.
- Az építés idején fellépő zaj- és rezgésterhelés (földmunkagépek, tömörítő gépek). Egyidejűleg megengedhető géplánc.
- A zajterhelés a lerakón belül, a hulladék ürítéséből, terítéséből, tömörítéséből származó, az időközi földtakarás gépei okozta zajterhelés.
- A szállítójárművek napi fordulónak szükséges darabszáma, az egyenértékű A-hangnyomásszint.
- Változások, amelyeket a lerakó létesítése és működése a beruházás közvetett területén élő lakosság zaj- és rezgésterhelésében okoz.
- Zajcsökkentési intézkedések. A forrás kibocsátási zajszintjének csökkentése, a működés időbeli, napszaki korlátozása, zajcsökkentő védművek szükségessége.

#### h) Táj

- A mikro- és makrokörnyezetben létrejövő tájképi változások.
- A területhasználatban bekövetkező módosulások (használatbővülés,-szűkülés) általános és környezeti elemenként, rendszerenként.
- A tájhasználati konfliktusok feloldhatósága.

#### **4.6.4. Az előzetes környezeti hatástanulmány tartalmi elemei**

Az előzetes hatástanulmány tartalmi elemei:

- a vizsgálandó lerakó bemutatása,
- a telepítési alternatívák szűrése,
- a hatótényezők számbavétele, potenciális hatásfolyamatok és potenciális hatásviselők feltárása,
- előzetes hatásterületbecslés,
- a teljes hatásterület érzékenységének vizsgálata,
- a releváns hatásfolyamatok kiválasztása és leírása,
- gyorsértékelés,
- a részletes KHT tartalmi követelményeinek megadása,
- közérthető tartalmi összefoglaló.

Az eKHT folyamatábráját a **4.10. ábra** szemlélteti. Az egyes fejezetek tartalmi és formai követelményeit az MI-13-45-1990 műszaki irányelv tartalmazza.

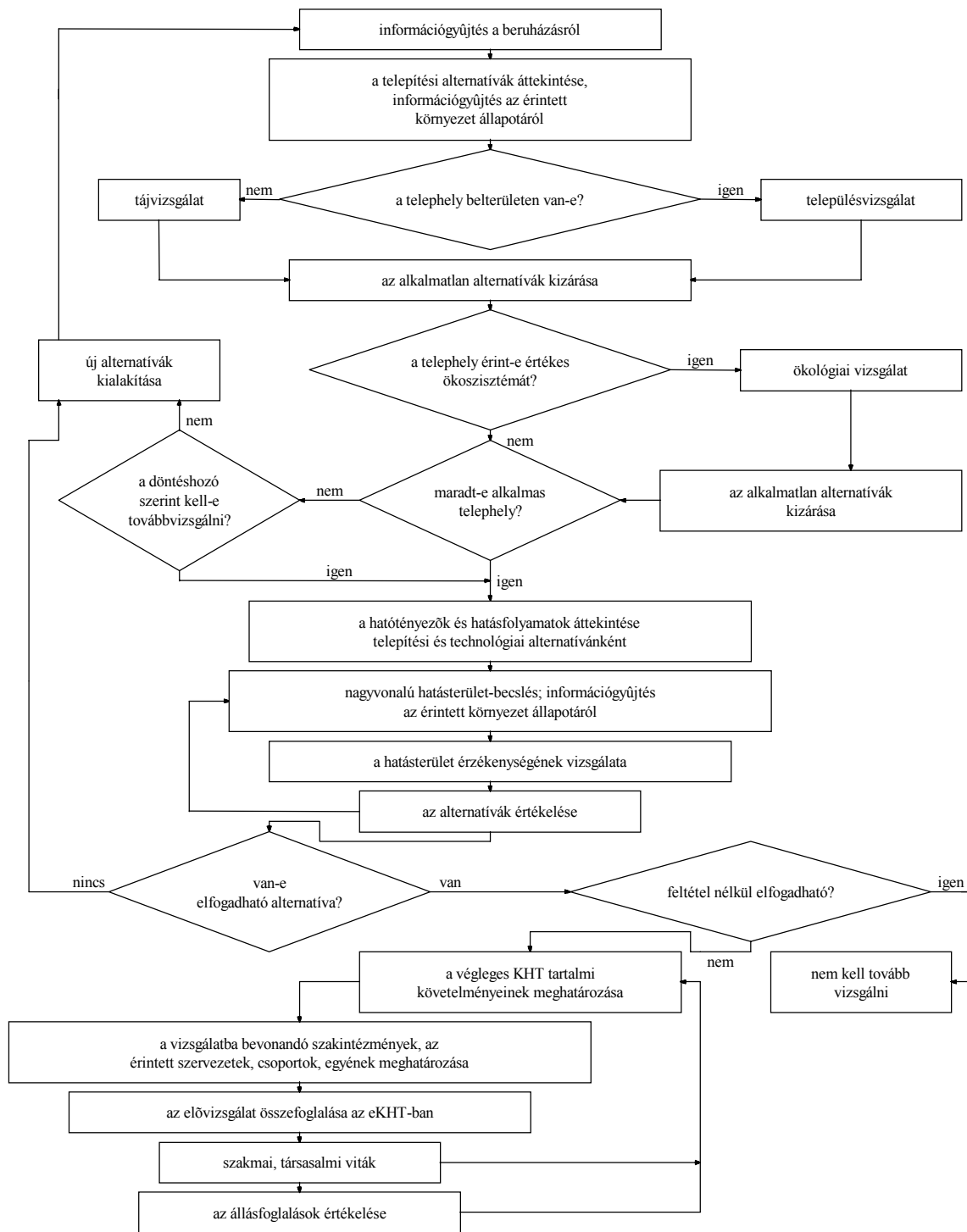
#### **4.6.5. A részletes környezeti hatástanulmány (KHT) tartalmi elemei**

A részletes KHT célja az eKHT során lényegesnek ítélt hatásfolyamatoknak a mindenkori tudományos ismeretekhez mért lehető legpontosabb elemzése és a hatások összegzett minősítése. A KHT elkészítésének a folyamatábráját a **4.11. ábra** szemlélteti. A részletes KHT-nak tartalmaznia kell a következő témaköröket:

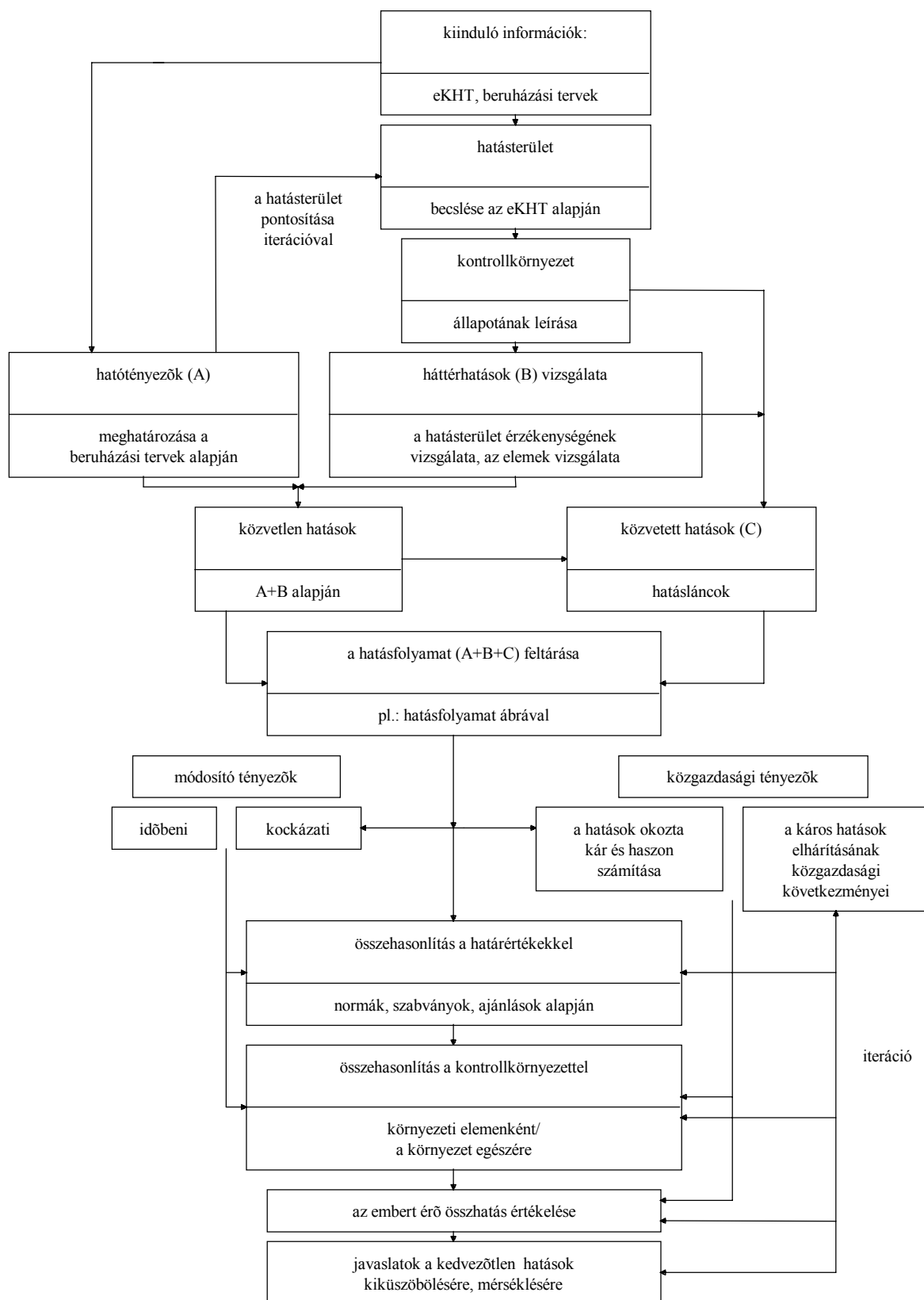
- a lerakó megvalósításának okai és a várható eredmények, hatások, következmények,
- a lerakó bemutatása,
- a kontroll környezet bemutatása,
- a tényleges hatótényezők és hatásfolyamatok teljeskörű bemutatása,
- a szignifikáns hatótényezők és hatásfolyamatok részletes leírása,
- a hatásterület lehatárolása,
- a hatásterület állapotában bekövetkező változások bemutatása és értékelése,
- az adatok forrásai,
- a becslési módszerek leírása, az alkalmazások feltételei,
- a bizonytalanság leírása, adat vagy ismerethiány a hatásfolyamat teljes meghatározásához,
- módosító javaslatok, intézkedések a káros hatások mérséklésére,
- javaslat a monitoring rendszer felépítésére, üzemeltetésére.

A részletes KHT legfontosabb tartalmi követelményeit az MI-13-45-1990 műszaki irányelv szabályozza.





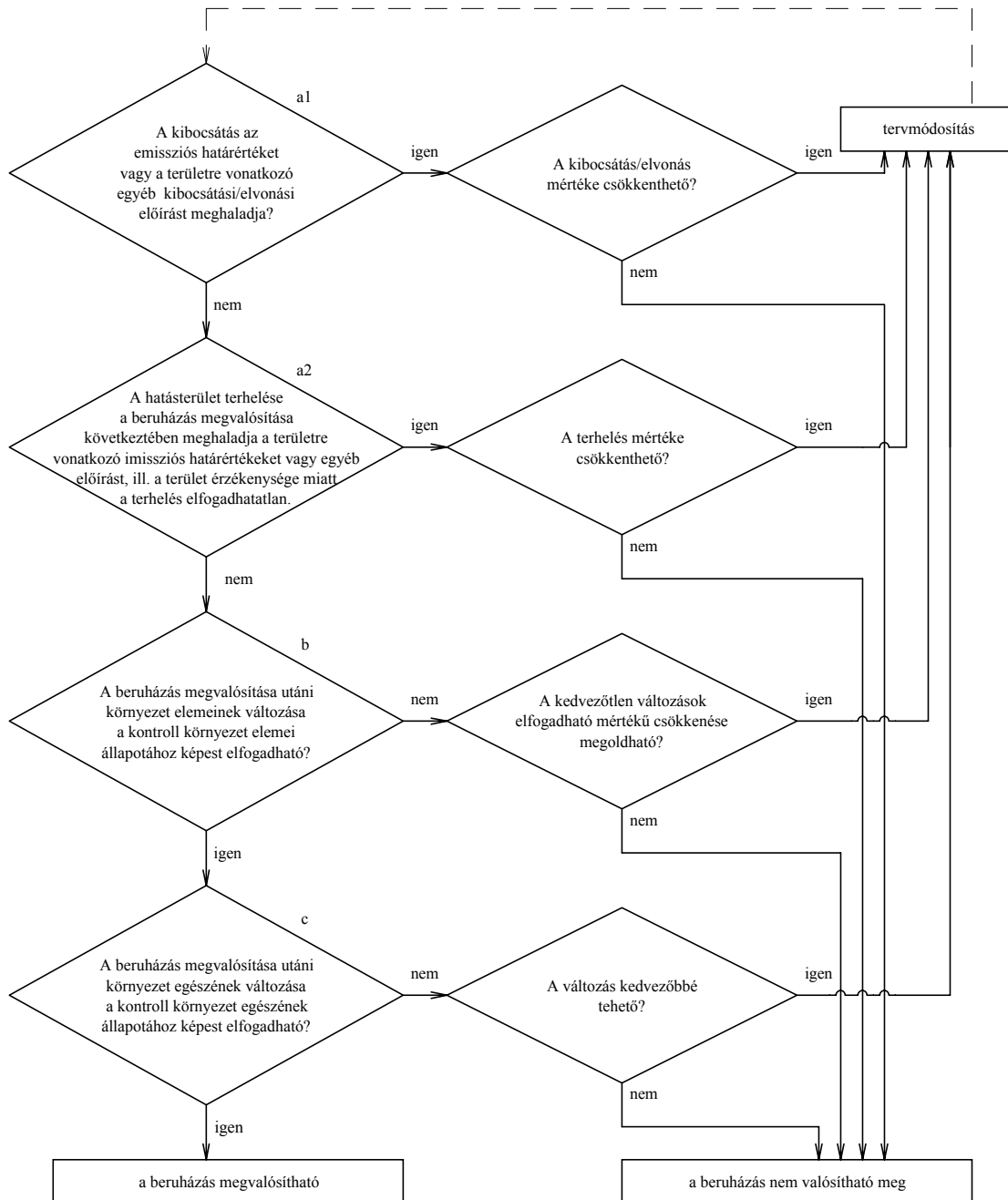
**4.10. ábra**  
 Az előzetes KHT elkészítésének célszerű folyamata  
 (ÖKO Rt., 1994.)



**4.11. ábra**  
A KHT elkészítése  
(ÖKO Rt., 1994.)

**4.6.6. A környezeti elemek állapotában bekövetkező változások értékelése és minősítése**

A hatótényezők, a hatásfolyamatok és a közvetlen és közvetett hatásterületek meghatározása nyomán lehetőség nyílik a környezeti elemek állapotában a lerakó és létesítményei által okozott változások értékelésére, majd minősítésére. Az értékelés során *minden környezeti elemre/rendszerre, és a teljes hatásterületre el kell végezni a beruházás megvalósítása következtében kialakuló új környezetállapot és a kontroll környezet állapotának az összehasonlítását.* Az értékelés lépéseit összefoglalóan a **4.12. ábra** szemlélteti.



**4.12. ábra**  
A környezeti elemek állapotában bekövetkező változások

A *minősítés* bemutatja, hogy a környezeti elemekben és rendszerekben beállt változások mennyire elfogadhatók. Az értékelés során el kell végezni:

- a hatótényezők és a vonatkozó emissziós normák összehasonlítását,
- a környezeti elem/rendszerek kiinduló állapota (kontroll környezet) és a megváltozott állapot összehasonlítását,
- az elemrendszer terhelése és a környezet - illetve természetvédelmi célkitűzések közötti nem határérték jellegű összehasonlítást,
- a lakossági szempontokkal való összevetést.

Az értékelés leglényegesebb és legkritikusabb mozzanata a *környezeti elemek/rendszerek* állapotváltozásának a megítélése. Alapvetően fontos, hogy a megítélés *objektív kategóriák alapján* történjék, aminek alapján a döntés egyértelmű, szubjektív elmektől mentes legyen. A **4.14.-4.15. táblázatok** egy lehetséges értékelési módot mutatnak be, egy alföldi iszaptároló (II. veszélyességi osztályú hulladék) bővítésének KHT-jából. A tároló medence aljzatszigetelő rendszere háromrétegű tömörített agyag és HDPE geomembrán fólia kombinációjával készül. A terület természeti adottságai nem kimondottan kedvezőek, megfelelő műszaki intézkedésekkel azonban a környezetkárosító hatás kizárható volt. (SZABÓ-KOVÁCS, 1995.).

#### 4.14. táblázat

| <i>Egy alföldi iszaptároló környezeti hatásainak jellemzői normál üzemmenet mellett</i> |                                                |                                                                      |                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A környezeti elem                                                                       | A környezeti elemekre ható tevékenység         | A központi hatás                                                     | Megjegyzés                                                                                                  |
| <b>Levegő</b>                                                                           | a. építés, az építést kiszolgáló forgalom      | ideiglenes levegőszennyezés zajterhelés                              | A kiporzás nedvesítéssel csökkenthető. Elsősorban pszichikai hatás, a porszállítás a területre jellemző.    |
|                                                                                         | b. működés: telephely célforgalom              | levegőszennyezés, zaj levegőszennyezés, zaj                          | A zajterhelés csendesebb munkagépekkel csökkenthető.                                                        |
| <b>Víz:</b><br>a. felszíni                                                              | szállítás közbeni üzemzavar                    | szennyezés (csak üzemzavar esetén)                                   | Valószínűsége minimális                                                                                     |
| b. felszínalatti                                                                        | üzemzavar (a szigetelőréteg meghibásodása)     | szennyezés                                                           | Csak műszaki védelemmel csökkenthető. Jóval határérték alatti.                                              |
| c. rétegvíz                                                                             | üzemzavar (a szigetelőréteg meghibásodása)     | szennyezés                                                           | Valószínűsége minimális                                                                                     |
| <b>Talaj</b>                                                                            | területhasználat változás                      | kiterjedése maradandóan csökken, zajterhelés                         | A tevékenység befejeztével az eredeti egyensúlyi állapot helyreállítható                                    |
| <b>Az ember</b>                                                                         | építkezés hulladékszállítás hulladékelhelyezés | többlet por és zajterhelés zajterhelés levegőszennyezés, zajterhelés | A tevékenység által kiváltott hatás a határérték alatt tartható                                             |
| <b>Táj</b>                                                                              | a lerakóhely építése                           | tájképi változás                                                     | A védő erdősáv telepítése a hatást mérsékli. Rekultivációval új, az eredeténél változatosabb tájképi hatás. |

| <b>Egy alföldi iszaptároló környezeti hatásai.</b> |                                        |                  |                          |                 |                          |                     |                     |                                                       |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>Környezeti hatásmátrix</b>                      |                                        |                  |                          |                 |                          |                     |                     |                                                       |
| A környezeti elem,<br>amelyre a<br>tevékenység hat |                                        | Tevékenység      |                          |                 |                          |                     |                     |                                                       |
|                                                    |                                        | Építés           |                          | Üzemeltetés     |                          | Üzem-<br>za-<br>var | Fel-<br>ha-<br>gyás | Jelenlegi<br>átmeneti<br>lerakó<br>rekultí-<br>válása |
|                                                    |                                        | Telep-<br>helyen | Közle-<br>kedés<br>révén | Telep<br>helyen | Közle-<br>kedés<br>révén |                     |                     |                                                       |
| <b>Le-<br/>ve-<br/>gő</b>                          | Levegőminőség 500<br>m-en belül        | E/CS             | Z                        | Z/CS            | Z                        | S                   | H                   | H                                                     |
|                                                    | Levegőminőség a<br>tágabb környezetben | S                | S                        | Z/CS            | S                        | S                   | H                   | H                                                     |
|                                                    | Zajterhelés                            | T/CS             | E                        | T/CS            | E                        | S                   | H                   | S                                                     |
|                                                    | Rezgésterhelés                         | S                | S                        | S               | S                        | S                   | S                   | S                                                     |
| <b>Víz</b>                                         | Felszíni víz                           | S                | S                        | S               | S                        | E                   | H                   | S                                                     |
|                                                    | Talajvíz                               | S                | S                        | E               | Z                        | E                   | H                   | H                                                     |
|                                                    | Rétegvíz                               | S                | S                        | Z               | Z                        | Z                   | H                   | H                                                     |
| <b>Ta-<br/>laj</b>                                 | Mezőgazdasági<br>művelés               | E                | S                        | E/CS            | S                        | S                   | H                   | H                                                     |
|                                                    | Talajszennyeződés                      | S                | Z                        | Z               | Z                        | S                   | H                   | H                                                     |
| <b>Élő-<br/>világ</b>                              | Növényzet                              | E                | S                        | E               | S                        | S                   | H                   | H                                                     |
|                                                    | Ökoszisztéma                           | T/CS             | S                        | T/CS            | S                        | S                   | H                   | H                                                     |
| <b>Táj</b>                                         | Tájkép                                 | E                | S                        | E               | S                        | S                   | J                   | H                                                     |
| <b>Az<br/>ember</b>                                | Tanyák                                 | E                | Z                        | E               | Z                        | E/CS                | H                   | H                                                     |

**Megjegyzés:** A minősítési kategóriák értelmezése az MI 10-504-1 szerint

*H:* helyreállítható: a hatás következtében mérhető, vagy észlelhető a környezet eredeti állapotba való visszakerülése

*S:* semleges: változás nem mérhető, vagy észlelhető

*Z:* zavaró: változás nem mérhető, de pszichológiai hatással van

*E:* elviselhető: a változás jóval a normatíva (határérték) vagy szakmailag elvárt érték alatt marad

*T:* terhelő: a rövid ideig tartó hatás szignifikáns tünetet nem okoz, de a hosszú ideig tartó igen. A jelentős változás a környezeti hatás elmúltával megszűnik

*CS:* a káros hatás csökkentése lehetséges

#### **4.7. Irodalomjegyzék**

*APGAR, M. (1976):*

Groundwater pollution potential of a landfill above the water table  
Ground Water, pp. 76-96.

*ÁRVAI J. (szerk.) (1993):*

Hulladékgazdálkodási kézikönyv  
Műszaki Könyvkiadó, Bp.

*BAGCHI, A. (1989):*

Design, construction and monitoring of sanitary landfill  
John Wiley and Sons, p. 285.

*BARÓTFI I. (szerk.) (1991):*

Környezettechnika kézikönyv  
Környezettechnikai Szolgáltató Kft., Bp.

*BME, ÁSVÁNY ÉS FÖLDTANI TANSZÉK (1989):*

A hulladék elhelyezés földtani követelményrendszere  
Kézirat

*BOHN, P. (1982):*

Radioaktív és erősen toxikus hulladékok elhelyezésére alkalmas geológiai  
képződmények megítélésének rendszere  
Földtani Kutatás, XXV. évf. 2. sz. pp. 96-99.

*BRANDL, H. (1989.):*

Zur Standortwahl von (Sonder-) Mülldeponien  
Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 134. Jg. H. 1. pp. 10-20

*BRANDL, H. (1992):*

A hulladéklerakók helyének kiválasztásáról  
Közlekedés és Mélyépítéstudományi Szemle, XLII. évf. 2. sz. pp. 37-42.

*CHRISTENSEN, Th.H.-COSSU, R.-STEGMANN, R. (1989):*

Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact  
Academic Press

*DEWEY, W.J. (1974):*

Standortkriterienkatalog- eine Voraussetzung für die Erfassung des Deponiepotentials  
Müll und Abfall, H.8. pp. 255-258.

*DÖRR, H.-ROBOLD, E.-PAETZELT, R. (1993):*

Sicherheitsbetrachtungen zu Deponien in Hinblick auf den Grundwasserschutz am  
Beispiel der geplanten Restmülldeponie Arxbach  
Müll und Abfall, H.9. pp. 3-11.

*DRESCHER, I. (1987):*

Standortanforderungen für Deponien aus geowissenschaftlicher Sicht Deponie.  
Ablagerung von  
Abfällen (Hrsg.: THOME-KOZMINESKY, K.), pp. 235-253.  
EF Verlag

*FEHÉR L. (1984):*

Veszélyes hulladékok  
Műszaki Könyvkiadó, Bp.

- FINNO, J.R.-SCHUBERT, W.R. (1986):*  
Clay-liner compatibility in waste disposal practice  
Journal of Geotechnical Engineering, No. 6. pp. 1070-1085.
- FOLKES, D.J. (1982):*  
Fifth Canadian Geotechnical Colloquium: Controls of contaminants migration by the use of liners  
Canadian Geotechnical Journal, 19. pp. 320-344.
- FOREMAN, D.E.-DANIEL, D.E. (1986):*  
Permeation of compacted clay with organic materials  
Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112. No. 7. pp. 669-681.
- GRIFFIN, R.A.-CARTWRIGHT, K.-SHIMP, N.F.-STELE, J.D.-RUCH, R.R.-WHITE, W.A.-HUGHES, G.M.-GILKESON, R.H. (1976):*  
Attenuation of pollutants in municipal landfill leachate by clay minerals Part 1.: Column leaching and field verification  
Illinois State Geol. Survey, Environmental Geology Notes, No. 79.
- GRIFFIN, R.A.-FROST, R.R.-AU, A.K.-ROBINSON, G.D.- SHIMP, N.F. (1977):*  
Attenuation of pollutants in municipal landfill leachate by clay minerals Part 2.: Heavy-metal adsorption  
Illinois State Geol. Survey, Environmental Geology Notes, No. 79.
- HALMOSNÉ BÁRHORY K. (1980):*  
Települési hulladékok lerakóhelyein végbemenő folyamatok vizsgálatai  
Kézirat, Budapest
- HORVÁTH ZS. (1985.a):*  
Települési szilárd hulladékok környezetkímélő elhelyezésének környezetföldtani szempontjai  
Hidrológiai Közlöny, 2. sz. pp. 85-88.
- HORVÁTH ZS. (1985.b):*  
A kommunális hulladékelhelyezés egyes vízföldtani kérdései  
Hidrológiai Közlöny, 4. sz. pp. 217-220.
- HORVÁTH ZS.-MOYZES A.-SCHEUER GY. (1978):*  
A hulladékelhelyezés környezetföldtani irányelvei  
Műszaki Tervezés, XVIII. évf. 7. sz. pp. 8-11.
- JÓZSA G.-HETÉNYI R.-RAINCSÁK GY. (1990):*  
Veszélyes hulladéklerakótelepek országos hálózata fejlesztésének földtani megalapozásához szükséges módszertani javaslat  
MÁFI, Kézirat
- JÖRGENSEN, S.E. (1975):*  
Do heavy metals prevent the agricultural use of municipal sludge?  
Water Research, 2. pp. 163-170.
- JUHÁSZ J. (1987):*  
Hidrogeológia  
Akadémiai Kiadó, Budapest
- JUHÁSZ J. (1994):*  
Természet és vízvédelem  
Egyetemi jegyzet. Miskolci Egyetemi Kiadó, p. 153.

*JUHÁSZ J.-SZABÓ I. (1989):*

A hulladék elhelyezés földtani követelményrendszere  
Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék, kézirat.

*JUHÁSZ J.-SZABÓ I. (1991):*

Veszélyes hulladéktárolók földtani környezetben való kialakításának szempontjai. Az  
iszapszerű és folyékony hulladék környezeti hatásairól  
Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék, kézirat.

*KEMMERLING, W.-MOSTBAUER, P. (1986):*

Standortproblematik. Anforderungen an Mülldeponien-Grundlagen zum  
Richtlinienentwurf  
7. Seminar Abfallwirtschaft an der Technischen Universität, Wien  
Abfallwirtschaft, Band. 7. pp. 27-55.

*KÖPPEN, K.K. (1988):*

Ausschreibung der hydrogeologischen Untersuchung für Deponien  
Deponie 2. Ablagerung von Abfällen (Hrsg.: *THOME KOZMIENSKY, K.*), pp. 177-191.  
EF Verlag

*KÖZLEKEDÉSI ÉS TERÜLETFEJLESZTÉSI MINISZTERIUM (1991):*

Wichtige Daten der Abfallwirtschaft in Ungarn  
Aqua, Bp. Összehasonlító tanulmány, p. 12.

*LECHNER, P.-PAWLICK, R. (1986):*

Anforderungen an Mülldeponien. Grundlagen zum Richtlinienentwurf  
7. Seminar Abfallwirtschaft an der TU Wien. Abfallwirtschaft, Band 7. pp. 149-166.

*MAKEING, K. (1976):*

Natural buffers for sludge leachate stabilization  
Ground Water, No. 6. pp. 426-438.

*MÜLLER, K. (1987):*

Akzeptanz von Deponiestandorten  
Deponie. Ablagerung von Abfällen (Hrsg.: *THOME KOZMIENSKY, K.*), pp. 254-269.  
EF Verlag

*NIEHAUS, H. Th. (1990):*

Methoden der Standortsuche für Sonderabfalldeponien  
Neuzeitliche Deponietechnik. (Hrsg.: *JESSBERGER, H.L.*), pp. 41-53. Balkema,  
Rotterdam

*OBERMAN, P.-JÄGER, B.-WILKE, F.L. (1991):*

Studie zur Eignung von Steinkohlenbergwerken im rechtsrhein Ruhrkohlenbezirk zur  
Untertageverbringung von Abfall und Reststoffen  
TU Berlin, Kézirat

*OELTZSCHNER, H. (1990):*

Geologisch - hydrogeologische Belange bei der Standortfindung von Deponien  
Neuzeitliche Deponietechnik, (Hrsg.: *JESSBERGER, H.L.*), pp. 27-39. Balkema,  
Rotterdam

*ÖKO RT. (1994):*

Környezeti hatásvizsgálat  
Tanfolyami jegyzet, Bp. p. 123.



*ROHRBECK, M (1979):*

Standortauswahl in der Abfallwirtschaft  
Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 7.  
Erich Schmidt Verlag

*SENG, H. (1974):*

Standortbeurteilung bei Deponien  
Müll und Abfall, H.5. pp. 147-156.

*SZABÓ I.-KOVÁCS B. (1995):*

Egy fűrészi iszaptároló bővítésének előzetes környezeti hatástanulmánya  
Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék. Kézirat

*TOMBÁ CZ, E.-RADNAI, A. (1989):*

Ajánlás a beruházások környezeti hatásvizsgálatának tartalmára és módszertanára  
Tanfolyami jegyzet, Bp. p. 93.

*WICKEREN, P. (1974):*

Anwendung der Systemanalyse an einem Planungsbeispiel  
Müll und Abfall, H.8. pp. 251-254.

*ZSILÁK GY.-JÓZSA G. (1983):*

Veszélyes hulladékok elhelyezésének komplex földtani előkészítése  
Agrokémia és Talajtan, 32. évf. 3-4 sz. pp. 484-489.

## 5. FEJEZET

### A HULLADÉKELHELYEZÉSEL KAPCSOLATOS GEOTECHNIKAI VIZSGÁLATOK

Az eddigiekben még nem foglalkoztunk a depóniák kialakításának a kérdéseivel, azonban az már nyilvánvalóvá vált, hogy a hulladékelhelyezés alapvető feltétele a környezetétől való minél jobb *elszigetelés*, ami történhet csak *természetes anyagú* (elsősorban agyag) *szigetelőréteggel*, *mesterséges gátak* (elsősorban műanyag fólia) *beépítésével*, vagy a *kettő kombinációja* révén. Minden esetben *alapvetően* fontos szerep jut az *agyagnak*, mint szigetelőréteg(ek)nek, amely(ek) lehet(nek):

- természetes településű,
- hagyományos földmunkával beépített agyagréteg(ek),
- esetleg egy megbízható agyag fekübe bekötő *résfal* (SZEPESSY, 1991.).

Magyarország földtani viszonyaiból adódóan olyan nagy kiterjedésű és vastagságú, homogén, vízzáró összletet találni, amely a létező előírásokat és gazdasági szempontokat is maradéktalanul kielégíti, nagy valószínűséggel nem lehet. Ezért egyre inkább előtérbe kerül a költségesebb mesterséges szigetelők alkalmazása, amelyek mellett a természetes földtani környezet a másodlagos biztonságot szolgálja (LONSTÁK, 1991.).

Mindemellett figyelembe kell venni a hazai gazdasági adottságokat is. A szükséges anyagi lehetőségek abba az irányba hatnak, hogy mindazoknál a hulladékoknál, amelyeknél megengedhető a pusztán természetes környezetben való elhelyezés, akkor azok ott is kerüljenek elhelyezésre. Sajnos, az egyik legnehezebben megválaszolható kérdés, hogy melyek azok a hulladékok, amelyeknél ez megengedhető. Nehezíti a probléma megoldását, hogy a lerakónak a biztonságot mindaddig biztosítani kell, amíg a tárolt hulladék a környezetére veszélyforrást jelent. Itt gyakorlatilag rövid idejű laboratóriumi mérések alapján kell tudnunk évtizedekre érvényes döntést hozni, amihez azért némi segítséget nyújtanak a már meglévő tapasztalatok, s bizonyos törvényszerűségek.

Ebben a fejezetben kiemelt fontossága miatt a geotechnikai problémákat elsősorban a veszélyes hulladékok és a lerakók természetes anyagú szigetelőrétegei *kompatibilitásának szemszögéből* vizsgáljuk. A megállapítások, törvényszerűségek és tendenciák természetesen *alkalmazhatók a kommunális hulladék-lerakókra* is, hiszen egyre nyilvánvalóbbá válik, hogy a kommunális hulladék-depóniákból kijutó csurgalékvíz összetétele és koncentrációja lényegesen nem különbözik a veszélyes hulladékokból származótól (v.ö. 7.6.-7.10. táblázatokat). Ez a tendencia várhatóan még tovább erősödik, ami a háztartásokban egyre inkább elterjedő különféle vegyszerek mellett a gyorsan szaporodó kis üzemek következménye is, mely üzemek hulladékai - többnyire illegális úton - szintén a kommunális lerakóra kerülnek. A kommunális hulladékok elhelyezését, szinte kivétel nélkül ma minden település maga oldja meg. Ennek következménye, hogy a lerakók többsége környezetföldtani szempontból alkalmatlan helyen és szakszerűtlen kezelési technológiával üzemel. Általánosan jellemző hibás gyakorlat, hogy a kommunális hulladék-lerakók esetében mindenki részéről egy bizonyos "kompromisszum készség" nyilvánul meg, ami a fent leírtakból egyáltalán nem következik, s nem indokolt.

Mint a **7.7.-7.10. táblázatokból** látható, a csurgalékvizek összetétele igen erős terhelést jelent a szigetelőrétegre. A geotechnikai előtervezés során lényegében arra a kérdésre kell választ adni,

hogy egy ilyen *behatással szemben a szigetelőréteg időtállóan megfelelő zárást tud-e biztosítani*. Mint látjuk, itt nem egyszerű, kémiai reakció nélküli folyadékáteresztésről (ill. át nem eresztésről) van szó, ami gyakorlatilag nem támadja meg sem az agyagot, sem a műanyag szigetelőlemezt, hanem kémiai hatású gázok, illetve sokszor töménynek is feltételezhető sóoldatok és szerves folyadékok jelenlétével kell számolni, amelyek különböző, többnyire kedvezőtlen folyamatot indíthatnak el mind az agyagban (duzzadás, ioncsere, kioldás, stb.), mind a műanyag szigetelőlemezben (felpuhulás, áteresztőképesség-növekedés, kioldás miatti szakadás, stb.).

Ahhoz, hogy hosszú távon is biztonságos maradjon a lerakó, - amihez megfelelő tervezési, minősítési és szabványosítási adatok szükségesek - ismerni kell mind a lerakó szigetelőanyagainak, mind pedig a tárolandó hulladékcsoporthoz a fizikai, kémiai és fizikai-kémiai tulajdonságait, viselkedését, illetve a permeabilitás és a mechanikai stabilitás megváltozásának lehetőségeit és mibenlétét.

Ahhoz, hogy a tároló aljzatszigetelő rendszerének elemei az általánosan a természetes anyagú szigetelőréteg, a műanyag szigetelőlemezek és a különböző, velük kapcsolatba kerülő anyagok kölcsönhatásai becsülhetők lehessenek, és ennek alapján véleményt lehessen nyilvánítani a szigetelő-, illetve áteresztőképességnek az értékéről és annak a különböző hulladékanyagok és oldatok hatására bekövetkező megváltozásairól, mindenekelőtt tisztában kell lenni ezen anyagok kémiai és kolloidkémiai szerkezetével, agyagászati tulajdonságaival, szerkezetével, felépítésével, a többnyire agresszív csurgalékvíz hatására várható viselkedésével, mert ez szabja meg a károsító hatás várható mértékét, és ennek alapján lehet megtenni, illetve megtervezni a megfelelő ellenintézkedéseket.

Ebben a fejezetben a fő hangsúlyt a *természetes anyagú szigetelőrétegek vizsgálatára* helyezzük és áttekintjük mindazokat a vizsgálati módszereket, amelyek a *minősítésükhöz* szükségesek. Részletesen a vizsgálatoknak csak a speciális vonatkozásait tárgyaljuk. A vizsgálatok összefoglalása után külön foglalkozunk a természetes anyagú szigetelőréteg és a hulladékdepónia csurgalékvizének kompatibilitási kérdéseivel. Mindezen problémák megoldásánál azonban elsődleges a szigetelőréteg anyagának, jelen esetben elsősorban az *agyagászati anyagoknak* az ismerete és várható viselkedése a külső kémiai és fizikai hatásokkal szemben.

### 5.1. Az agyagászati szerkezete

#### 5.1.1. Az agyagászati kristálykémiaja

Az atomok összekapcsolódásakor olyan kötés alakul ki, amely magában foglalja a vegyértékelektronok átrendeződését. A kötés típusa a vegyülő atomok elektronszerkezetének a függvénye (BOHN et al., 1985.).

Az *ionos vagy elektrosztatikus kötés* az ellentétes töltésű ionok között jön létre. Az ionos kötés kötési energiája nagy, a kötési erők irányíthatatlanok, azaz minden irányban egyenlően hatnak.

A *kovalens kötés* az azonos vagy hasonló elektronszerkezetű atomok között gyakori. A kovalens kötés erős, de irányított.

A *van der Waals kötés* (gyenge) elektrosztatikus kötés, amely a molekulák megmaradó töltései között alakul ki.

A kémiai kötés minden típusa jellegzetes tulajdonságokkal ruhazza fel az anyagot. Ha egynél több kötés fordul elő a kristályban, a *fizikai tulajdonságokat a leggyengébb kötések határozzák meg*. Ezért a rétegszilikátok fizikai tulajdonságai elsősorban a rétegek közötti kötésektől függenek.

Az agyagásványokban lévő belső kötések többségükben ionosak. Ennek eredményeként az erők nem irányítottak, és az ionméret fontos szerepet játszik a kristályszerkezet kialakulásában.

Az ionsugár függ az ionszerkezet konfigurációjától is. Az oxigén ionsugara sokkal nagyobb mint az agyagásványokban lévő legtöbb kationé. A leggyakoribb szilikátásványokban az oxigén teszi ki tömegük megközelítően 50%-át és térfogatuk több mint 90%-át, ezért szerkezetüket az oxigénionok illeszkedésének módja határozza meg.

A központi ion körül csoportosuló ionok száma a két ion sugarának az arányától függ, és a *központi ion koordinációs számának* nevezik. Feltéve, hogy az ionok merev gömbökként viselkednek, a kationok és az anionok stabilis elrendeződését geometriai alapon számíthatjuk (**5.1. és 5.2. táblázat**). Az ionok többé-kevésbé mereven, a geometriai és az elektromos stabilitás által meghatározott módon helyezkednek el a kristályszerkezetben.

**5.1. táblázat**

| <i>A különböző kationok ionsugara a kristályban, valamint az oxigénre vonatkozó koordinációs számok (BOHN et al., 1985.)</i> |          |      |                               |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|-------------------------------|-----------|
| Ion                                                                                                                          | Ionsugár |      | Koordinációs szám (oxigénnel) |           |
|                                                                                                                              | (nm)     | (Å)  | megfigyelt                    | számított |
| Si <sup>4+</sup>                                                                                                             | 0,042    | 0,42 | 4                             | 4         |
| Al <sup>3+</sup>                                                                                                             | 0,051    | 0,51 | 4,6                           | 4         |
| Fe <sup>3+</sup>                                                                                                             | 0,064    | 0,64 | 6                             | 6         |
| Mg <sup>2+</sup>                                                                                                             | 0,066    | 0,66 | 6                             | 6         |
| Fe <sup>2+</sup>                                                                                                             | 0,074    | 0,74 | 6                             | 6         |
| Na <sup>+</sup>                                                                                                              | 0,097    | 0,97 | 6,8                           | 6         |
| Ca <sup>2+</sup>                                                                                                             | 0,099    | 0,99 | 8                             | 6         |
| K <sup>+</sup>                                                                                                               | 0,133    | 1,33 | 8,12                          | 8         |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                                                                                                 | 0,143    | 1,43 | 8,12                          | 8         |
| O <sup>2+</sup>                                                                                                              | 0,132    | 1,32 | -                             | -         |

A legstabilisabb forma az lesz, amelyben az ionok potenciális energiája a legkisebb. Az elektromos stabilitás feltétele a pozitív és a negatív töltések összegének egyenlősége (az ún. elektroneutralitás). Ez az egyenlőség azonban nem úgy alakul ki, hogy az ellentétes töltésű ionok párokat alkotnak a semlegesség elérésére, hanem úgy, hogy a kation pozitív töltése egyenlően oszlik meg a környező anionok között. Az egyes kationok körül levő anionok számát a koordinációs szám, vagyis a kationok és az anionok sugarának aránya sokkal inkább meghatározza, mint a kation töltése (BOHN et al., 1985.).

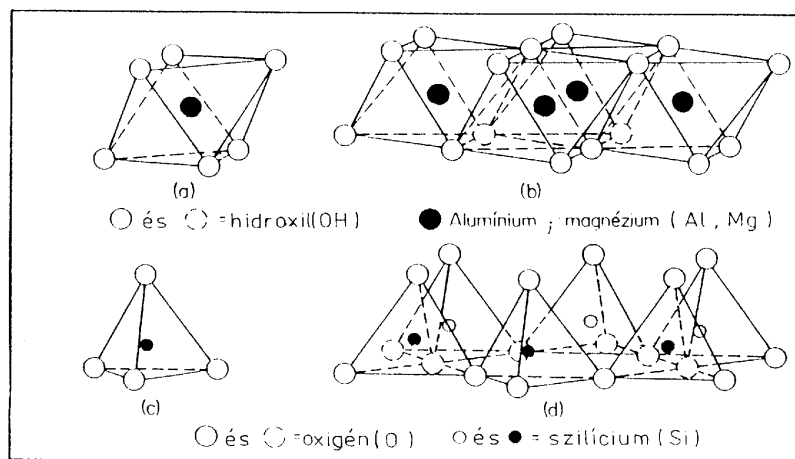
Az oxigénanionnak a leggyakoribb kationokra vonatkozó számított és megfigyelt koordinációs számai az **5.1. táblázatban** láthatók. A Si<sup>4+</sup> kation négyes vagy tetraédes koordinációban, az alumínium általában hatos vagy oktaédes koordinációban található, de előfordulhat tetraédes koordinációban is. Ahol a sugárány közel van a két koordinációs típus közötti elméleti határhoz, a kation bármelyik koordinációban előfordulhat, a kristályosodás körülményeitől

függően. Ha a kristályosodás alatt nagy a hőmérséklet, általában a kis koordinációs számú szerkezet jön létre. A nagy hőmérsékletű ásványokban az  $Al^{3+}$  hajlandóságot mutat arra, hogy négyes koordinációt hozzon létre és helyettesítse a  $Si^{4+}$ -ot. Alacsonyabb hőmérsékleten az  $Al^{3+}$  főként hatos koordinációban fordul elő.

5.2. táblázat

| A sugáráránytól és a koordinációs számtól függő térbeli elrendeződés (BOHN et al., 1985.) |                                            |                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Sugárárány<br>$r_{\text{kation}}/r_{\text{anion}}$                                        | Az anionok elrendeződése<br>a kation körül | A központi kation<br>koordinációs száma |
| 0,15-0,22                                                                                 | egyenlő oldalú háromszög csúcsai           | 3                                       |
| 0,22-0,41                                                                                 | tetraéder csúcsai                          | 4                                       |
| 0,41-0,73                                                                                 | oktaéder csúcsai                           | 6                                       |
| 0,73-1                                                                                    | kocka csúcsai                              | 8                                       |
| 1                                                                                         | legsorosabb illeszkedés esetén             |                                         |

A tetraédes és az oktaédes koordinációs egységek alapvető jelentőségük a legtöbb rétegszilikát-ásvány szerkezetében. Az agyagásványokban az  $SiO_4^{4-}$  tetraéderek polimerizálódva  $(SiO_3)_n^{2-}$  egyszerű, vagy  $(Si_4O_{11})_n^{6-}$  összetett láncokká kapcsolódnak, az esetek túlnyomó többségében azonban a csúcsoxigéneken keresztül kapcsolódva síkhálót alkotnak, amint azt az **5.1. ábra** mutatja. Ebben a szerkezeti kötelékben ideális esetben a szilíciumok, ill. a csúcsoxigének szabályos hatszög csúcspontjaira illeszkednek (WALLACHER, 1989.).



- a. oktaéder                      b. oktaédes síkháló  
c. tetraéder                      d. tetraédes síkháló

### 5.1. ábra

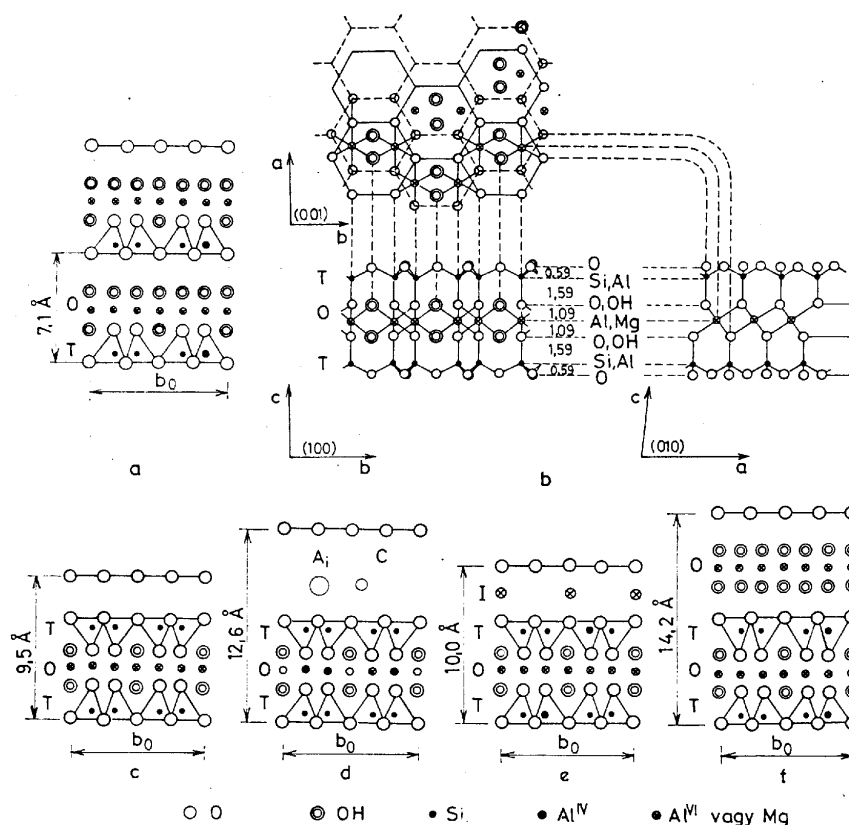
Az agyagásványok tetraédes és oktaédes alapegységei  
(BELL, 1981.)

Az  $(Si_2O_5)_4^{2-}$  szerkezeti réteg töltésfeleslegének kiegyenlítésére legegyszerűbb esetben az oktaédes atomköteg csatlakozása elegendő. Az oktaédes atomköteg középpontjaiban két-

vagy háromértékű kation van (legtöbbször  $Mg^{2+}$  ill.  $Al^{3+}$ ), a csúcsokon  $O^{2-}$ , ill.  $(OH)^-$  ionok helyezkednek el (5.1. ábra). Az oktaédes kötelékben az  $Al^{3+}$ -ot, ill.  $Mg^{2+}$ -ot elvileg mindazok a kationok helyettesíthetik, amelyeknek mérete megfelel az oxigénnel alkotott hatos koordináció feltételének (lásd 5.2. táblázatot.)

### 5.1.2. A rétegszilikátok szerkezete

A rétegszilikátok szerkezeti egységeit az oktaédes és tetraédes koordinációs kötelékek kapcsolódásának néhány alaptípusa határozza meg (5.2. ábra, NEMECZ, 1973.).



5.2. ábra

Az agyagásványok rétegekompexum típusai

- a = (TO) (1:1) kettősréteg, b = (TOT) (2:1) hármásréteg,  
 c = kiegyenlített (2:1) típusú rétegekompexum, d = (TOTA<sub>i</sub>C),  
 e = (TOTI), f = (TOTO) rétegekompexum  
 (NEMECZ, 1973.)

1. Legegyszerűbb esetben egy tetraédes réteg (T) egy oktaédes réteggel (O) kapcsolódik, vagyis két rétegből álló rétegekompexum (TO), vagy összetett kettős réteg keletkezik (5.2.a. ábra). Ezek az (1:1) típusú agyagásványok. Fontos körülmény, hogy ezekben a kettős réteg fő vegyértékei kiegyenlítették, tehát a rétegekompexum elvileg semleges. A rétegekompexumokat H-kötések csatolják egymáshoz.

A (TO) réteggkomplexumok ~10 nm-enként ismétlődnek a c-tengely irányában. Attól függően, hogy di- vagy trioktaédes réteget tartalmaznak, két fő csoportra oszlanak: kanditokra és szeptekloritokra.

2. A rétegek kapcsolódásának egy másik típusában két, egymással szembeforduló tetraédes réteg fog közre egy oktaédes réteget, s így három rétegből álló réteggkomplexum (TOT), vagy összetett hármás réteg keletkezik (**5.2.b. ábra**). *Az ilyen ásvány (2:1) típusú.*

Ellentétben az (1:1) típusú agyagásványokkal, a (2:1) típusú réteggkomplexumban a pozitív és negatív töltések nincsenek okvetlenül kiegyenlítve, és ebből a szempontból három fontos csoportot különböztetünk meg.

a) A (2:1) réteggkomplexumok *semlegesek* (TOT), s így a van der Waals erők tartják össze őket. Ide tartozik: pirofillit és talk (**5.2.c ábra**). A réteggkomplexumok ~0,95 nm távolságra követik egymást.

b) A (2:1) réteggkomplexumban változó nagyságú *negatív töltésfelesleg* van, s ezeket víz ( $A_i$ ) és *cserélhető kationok* (C) kapcsolják össze egymással (TOTA<sub>i</sub>C). Ilyen ásványok a *szmektitok és a vermikulitok* (**5.2.d ábra**). Mivel ezek *réteggközi* térben változó mennyiségű víz adszorbeálódik, a szmektit ásványok feltűnő sajátsága a *réteggközi duzzadás* (*expandáló ásványok*).

c) A (2:1) réteggkomplexumban elemi cellánként határozott nagyságú *negatív töltésfelesleg* van, ezért a *réteggközi térben* határozott helyzetben *inaktív kation* (I) foglal helyet a réteggkomplexumok között (TOTI). Ide tartoznak a csillámszerkezetből levezethető agyagásványok (**5.2.e ábra**). A réteggkomplexumok ismétlődési távolsága itt ~1,0 nm.

3. Önálló csatlakozási típusnak tekintjük azt az esetet, amikor a kiegyenlített (2:1) réteggkomplexumok között *inaktív kation helyett egy második oktaéderréteg fordul elő* (TOTO) (**5.2.f ábra**). Ezek voltaképpen a *2:(1+1) vagy (2:2) típusú ásványok*, amelyek a kloritcsoport tagjait ölelik fel. A négyes réteg periódusa ~1,4 nm.

### 5.2. A szemcsék felszínén fellépő határfelületi jelenségek

A hulladékelhelyezés szempontjából alapvető jelentőséggel bíró agyagok az *agyagásvány-szemcsék mérete miatt a kolloidok* közé sorolandók. A kolloid micellák (micella: a kolloid oldatok szolvátréteggel körülvett diszperz részecskéinek a neve, függetlenül szerkezetüktől és állandósításuk módjától) felületén a szilárd és folyékony fázis közötti átmenet nem éles, hanem folytonos, átmenetet képez a diszperz rész magját képező micellamag és a diszperziós közeg között (STEFANOVITS, 1981., BERE CZ, 1991.). Ez a *határréteg* mind a szilárd, mind a folyékony fázistól eltérő tulajdonságú, s igen fontos szerepet játszik az agyagtalajok viselkedésének, illetve annak a különböző szervetlen elektrolitok és szerves vegyületek hatására bekövetkező megváltozásának a meghatározásában. A szilárd-folyékony határfelületeken lejátszódó *adszorpció* és *ioncsere* hatásának az ismerete különösen fontos a szigetelőréteggként használt agyagtalajok várható vízzáróságának (szigetelőképességének) a megítélésénél.

Az adszorpciót létrehozó erők nagysága, jellege és a megkötődés mechanizmusa különböző lehet (FILEP, 1988.).

A van der Waals erők és hidrogénkötések dominanciája esetén a *fizikai adszorpció* a jellemző. Az erős elektrolitok a poláris adszorbenseken többnyire *nem ekvivalensen adszorbeálódnak*. Szélsőséges esetben csak az egyik fajta ion (kation v. anion) kapcsolódik a felülethez, a másik teljesen oldatban marad. Az adszorbeált ion helyébe azonos töltésű ion megy az adszorbens felületéről az oldatba, ekkor beszélünk *ioncsere-adszorpcióról*, amikor is az ion-ion kölcsönhatást a hosszú hatótávolságú Coulomb-erők teszik lehetővé. Amennyiben a felületi reaktív csoportok és az adszorbeálódó anyag között kémiai kötés is létrejön, *kemisorpcióról* beszélünk.

A fizikai adszorpció a töltés nélküli ionpárok, molekulák és fémorganikus komplexek megkötésében, az ionadszorpció a különböző töltésű ionok és ionpárok elektrosztatikus visszatartásában, a kemisorpció pedig egyes anyagok immobilizálásában játszik jelentős szerepet. A szorpciós jelenségek fenti típusai a valóságban nem különülnek el élesen, a többkomponensű, bonyolult dinamikus rendszerekben a hatások általában összefonódnak.

### **5.2.1. A diffúz kettős réteg**

A talajszemcsék és a talajoldat határán egy *véges vastagságú határréteg* alakul ki. Amikor a felület (mint a talajkolloidok többségénél) negatív töltésű, a szolvátrétegben főként kationok találhatóak. A kolloidmag (micellamag) negatív töltésű helyei alkotják a potenciálmeghatározó réteget, s ehhez az adszorbeált kationokból álló ellenionréteg kapcsolódik. Az elektroneutralitás megkívánja, hogy egy adott pH-értéken a kicserélhető kationok töltésének összege megegyezzen a talaj negatív töltésével, nehéz azonban különbséget tenni a kicserélhető és az oldott kationok között. Ha a kolloid negatív töltését kiegyenlítő kationok rétege közvetlenül a kolloid felületének szomszédságában helyezkedne el, a megoszlás a *Helmholtz-féle kettős rétegnek* (5.3.a ábra) felelne meg. A kationok koncentrációja a talaj-folyadék határfelületén azonban folyamatosan változik az oldat belseje felé haladva. A részecskék felszíne közelében a koncentráció nagyobb, az oldat belsejének koncentrációja jelentős mértékben kisebb. Az ilyen eloszlást *diffúz kettős rétegnek* nevezik (BOHN et al., 1985.).

Az ionok hőmozgása miatt (amely az egyenletes eloszlás irányába hat) csak közvetlenül a felületen kialakult töltéstöbblet tekinthető lokalizáltnak és rendezettnak. A külső fegyverzetet alkotó *ellenionok (kationok) koncentrációja a távolsággal exponenciálisan csökken (diffúz réteg)*, az *anionok koncentrációja pedig a felülettől távolodva nő*. A diffúz réteg külső határvonalán - amennyiben a kettős réteg teljesen kiterjedt, azaz a kolloidszemcsék távolsága révén nem korlátozott - a felületi potenciál zérus, így a külső oldatban az anionok és a kationok azonos valószínűséggel fordulnak elő. A fenti *Gouy-Chapman elméletnek* megfelelő kettős réteg felépítést és potenciáeloszlást szemléltet a 5.3.b ábra.

A *potenciáeloszlás* a diffúz rétegben a

$$\Psi_x = \Psi_0 \exp(-\kappa \cdot x)$$

összefüggés szerint alakul, ahol:

$\Psi_0$ : az elektromos potenciál a részecske felületén,

$\Psi_x$ : a potenciál a felülettől  $x$  távolságra,

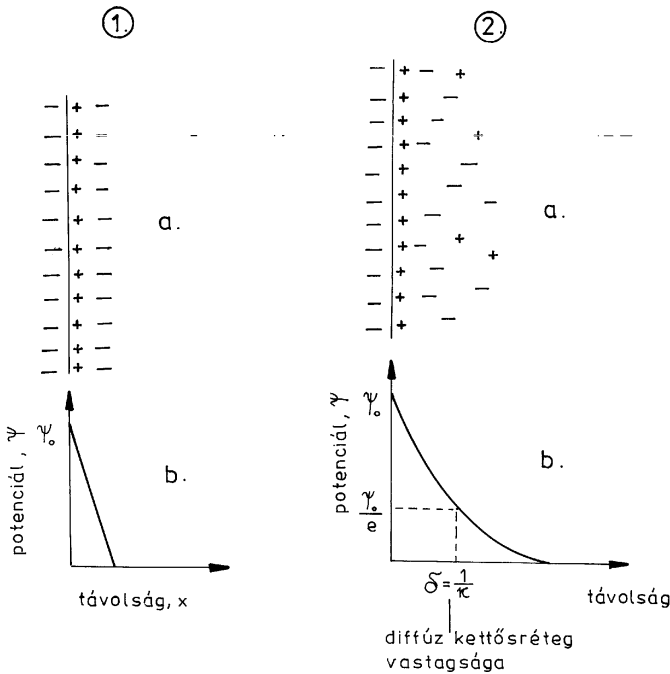
$\kappa$ : a diffúz töltésfelhő "sűrűségétől" függő állandó; annak a távolságnak a reciprokéval egyenlő, amelyen belül a felületre jellemző potenciál ( $\Psi_0$ ) az  $e$ -ed részére csökken.

$1/\kappa=d$  tehát a diffúz kettős réteg fiktív vastagsága



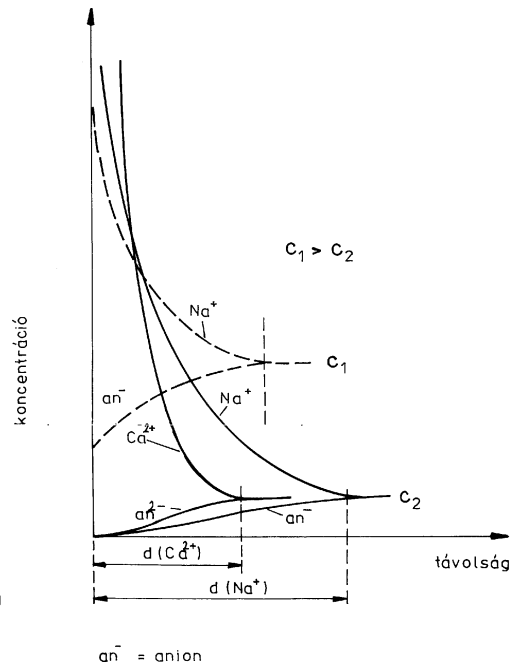
(v.ö. 5.10. összefüggést és a 4.49. ábrát).

Az oldatkonzentráció és az ellenionok vegyértékének hatását a diffúz réteg vastagságára az **5.4. ábra** szemlélteti (FILEP, 1988.). Mint látható kétvegyértékű kationok adszorpciója esetén az egy vegyértékű ionok eloszlásához viszonyítva a felére csökken a diffúz réteg vastagsága, ami az oldatkonzentráció növekedtével ugyancsak csökken.



**5.3. ábra**

- 1.a. Helmholtz-féle kettős réteg
- b. A potenciál változása
- 2.a. Gouy-Chapman-féle kettős réteg
- b. A potenciál változása



**5.4. ábra**

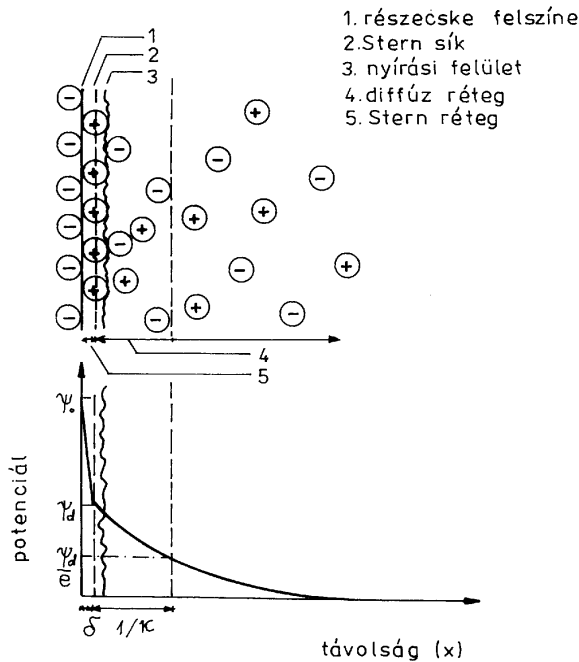
Az oldatkonzentráció és az ellenion vegyértékének hatása a kettős réteg vastagságára

A *Stern-elmélet* a diffúz kettős réteg Gouy-Chapman féle elméletét fejlesztette tovább. Ez az elmélet feltételezi, hogy bizonyos ionok közvetlenül szorosan rögződnek a kolloidok felületéhez, mint *speciálisan adszorbeálódott Stern-réteg kationok*. A kettős réteg a rétegen kívül diffúz. A Stern-rétegben az ionok az ionsugárnál kisebb távolságra nem közelíthetik meg a felületet, a kettős rétegnek ebben a részében ugrásszerű potenciálesés van (**5.5. ábra**).

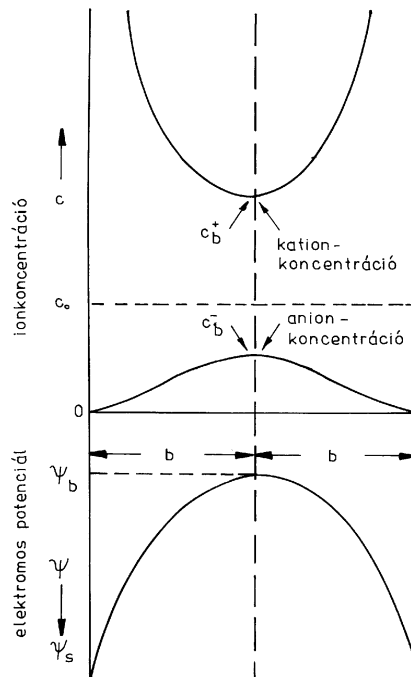
Az 5.3.a-b ábrák valójában egy ideális esetet szemléltetnek, azt amikor a kolloidok egymástól való elkülönülése "végtelen". A talajoknál az ábrázolt teljesen kiterjedt kettős rétegek ritkán alakulhatnak ki, mert a kialakulásukat befolyásolják a *szomszédos talajkolloidokon levő kettős rétegekkel* lejátszódó kölcsönhatások. Az **5.6. ábra** a *korlátozott kiterjedésű kettős réteget* ábrázolja (BOHN et. al., 1985.).

A kationok és az anionok elektromos potenciáeloszlása az **5.6. ábra** feltételezése szerint a két függőleges kolloidrészecske között szimmetrikus. A kationkoncentráció  $C_b^+$ -re, az anionkoncentráció pedig  $C_b^-$ -re, azaz a szomszédos részecskék közötti középsíknál levő oldottanyag-konzentrációra csökken. Hasonlóképpen, az elektromos potenciál  $\Psi_s$ -ről, a kolloid felszíni potenciáljáról  $\Psi_b$ -re, a középsík elektromos potenciáljára változik. A középsíknál levő

kationfőleg az oldat fő tömegével összehasonlítva *ozmotikus gradienst okoz*. Ez viszont a víz-áramlás gátlódásához vagy a kolloid duzzadásához vezet. E gátlás addig tart, amíg a duzzadást a részecskék közti kötések ki nem egyenlítik, vagy amíg a középsíkban levő ozmotikus potenciál meg nem egyezik az oldat fő tömegének potenciáljával, vagy amíg a duzzadást a víz hiánya meg nem akadályozza. A legtöbb talajban a teljes mátrix látható duzzadása ritka, de a nagy montmorillonittartalmú agyagoknál jelentős lehet.



**5.5. ábra**  
A Stern-féle kettős réteg  
(SHAW, 1986.)



**5.6. ábra**  
Az elektromos potenciál és ionkoncentráció  
negatív töltésű,  
kölsönhatásban lévő lemezek között

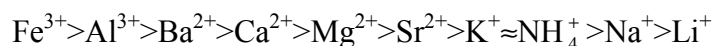
### 5.2.2. Az adszorpció törvényszerűségei

Az adszorpció jelenségét az *elektrosztatikus vonzás*, a *kölsönös polarizáció* valamint a *diszperziós hatás* együttesen szabja meg, összefüggésük adja az *adszorpciós energiát*.

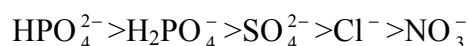
Az oldatban lévő *ionoknak a kolloid felületén való adszorpciójához* a különböző ionok nem egyforma eséllyel vesznek részt és nem egyforma erővel kötődnek meg. A különbségeknek az oka (STEFANOVITS, 1981.):

- *Heterogén felületen az ellentétes töltésű ionok* adszorbeálódnak jobban. A hazai eluviumokban a nettó negatív ki nem egyenlített töltés miatt a *kationadszorpció (kationcserélődési reakció)* lényegesen nagyobb jelentőségű mint az *anionadszorpció*.
- Ha a felület és az elektrolit valamely ionja közös, akkor az kötődik szelektíven; ennek hiányában az az ion, amely a rácsba izomorf módon beépülhet, vagy az, amely oldhatatlan vegyületet képez a rács valamelyik ionjával. Agyagásványok esetében ezek az ionok:  $\text{SiO}_4^{4-}$ ;  $\text{Al}^{3+}$ ;  $\text{Fe}^{3+}$ ;  $\text{Mg}^{2+}$  és  $\text{K}^+$

- Egy adott ion adszorpciójának vagy deszorpciójának relatív mértékét meghatározó legfontosabb tényező az ion *töltése*. A *nagyobb töltésű* ionok jobban adszorbeálódnak.
- *Azonos töltésű ionok közül a kevésbé hidratált* ion adszorpcióképessége a nagyobb. Ha az adszorbens és az ion között specifikus kölcsönhatás nincs, a fontosabb *kationok adszorpcióképessége* az alábbi sorrendben *csökken* (HOFMEISTER féle liotróp sor):



Anionok esetében a sorrend:



- Az oldat valamennyi ionja közül a  $\text{H}^+$  és  $\text{OH}^-$  ionok adszorbeálódnak a legjobban.
- Egy adott eluvium kation adszorbeáló képességét jelentősen befolyásolja a benne előforduló kolloidok mennyisége és milyensége (lásd az **5.3. táblázatban**, ill. az **5.7. ábrán**).

### 5.3. táblázat

| <i>A fontosabb talajkolloidok néhány jellemzője (FILEP, 1988.)</i> |                  |                           |                                              |                                             |                                                |                            |
|--------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------|
| Kolloid neve                                                       | Szerkezet típusa | Részecske vastagsága (nm) | Kationcserélő kapacitás (T-érték, mekv/100g) | Összes fajlagos felület (m <sup>2</sup> /g) | Felületi töltés-sűrűség (μekv/m <sup>2</sup> ) | Töltésszám/nm <sup>2</sup> |
| Kaolinit                                                           | 1:1 (TO)         | 25-50                     | 5-15                                         | 10-30                                       | 1,67-15,0                                      | 1,0-9,03                   |
| Illit                                                              | 2:1 (TOT)        | 5-30                      | 15-40                                        | 80-120                                      | 1,25-5,0                                       | 0,75-3,01                  |
| Vermikulit                                                         | 2:1 (TOT)        | -                         | 120-200                                      | 600-750                                     | 1,6-3,33                                       | 0,96-2,0                   |
| Szmeaktitek (montmorillonit)                                       | 2:1 (TOT)        | 1-10                      | 60-120                                       | 750-800                                     | 0,75-1,6                                       | 0,45-0,96                  |
| Klorit                                                             | 2:1+1 (TOT+O)    | 1-100                     | 10-40                                        | 70-150                                      | 0,67-5,7                                       | 0,40-3,43                  |
| Allofánok                                                          | amorf            | -                         | 50-100                                       | 100-600                                     | 0,83-10,0                                      | 0,50-6,02                  |
| Paligorszkít                                                       | láncszerkezet    | -                         | 25-30                                        | 140-160                                     | 1,56-2,14                                      | 0,94-1,29                  |
| Fe- és Al-hidroxidok                                               | amorf            | -                         | (pH ~ 8-nál)<br>0,5-1                        | 25-40                                       | 0,13-0,4                                       | 0,08-0,24                  |
| Humusz                                                             | pH=6             | amorf                     | 150-200                                      | 500-900                                     | 1,67-4,0                                       | 1,00-2,40                  |
| (talajban)                                                         | pH=8             | amorf                     | 200-300                                      | -                                           | 2,22-6,00                                      | 1,34-3,61                  |

Az eluviumok *anion* - és *molekulacserélő kapacitása* sokkal kisebb, mint kationvisszatartó képességük. Sok anion és minden molekulafajta összetettebb mechanizmusok útján kötődik meg az eluviumban, mint a legtöbb kationadszorpció reakciót kiváltó, egyszerű elektrosztatikus vonzás.

Bizonyos agyagásványoknál - pl. montmorillonitnál - és más, az eluviumban lévő adszorbenseknél tapasztalható az *aniontaszítás* - *negatív adszorpció* - jelensége, ami adott pH-nál a kérdéses anionok kitértetett meg-nem-kötése. A leggyakoribb ionok, amelyekkel kapcsolatban az aniontaszítás észlelhető a  $\text{Cl}^-$ , a  $\text{NO}_3^-$  és a  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Az aniontaszítás az anion töltésével növekedik, azaz az adszorbens állandó töltésénél a *nagyobb töltésű anionok jobban taszítódnak*. Például Na-montmorillonit szuszpenzióban az aniontaszítás növekedésének sorrendje:  $\text{Cl}^- \gg \text{NO}_3^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{Fe}(\text{CN})_6^{4+}$ . Hasonlóképpen az *anionkoncentráció* növekedése is fokozza az aniontaszítást, viszont a pH-érték csökkenésével csökken az aniontaszítás.

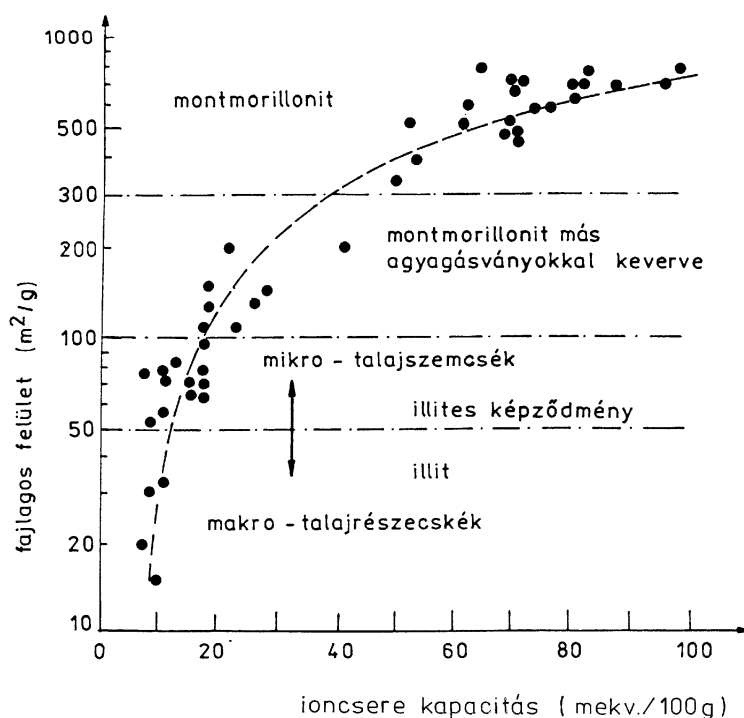
Az aniontasztítás kisebbé válik, ha az anionok az adszorbens pozitív töltésű helyein meg tudnak kötődni, de az adszorpciójuk a következőkben már tasztítja az anionokat - ilyen pl. a  $\text{PO}_4^{3-}$  - anion kötődése.

Az aniontasztítás fontos az eluviumokban az ionok migrációjánál, mivel az anionok az adszorbensekhez csak bizonyos távolságig közelíthetnek, a mozgásterük leszűkül, ezért ezek az ionok gyorsabban migrálnak át az eluviumon, mint oldószerük a víz.

Az eluviumok pórúsolatában lévő molekulák egy része nem rendelkezik töltéssel, proton - felvétellel, vagy protonvesztéssel kation, ill. anion karakterűvé válnak.

A *nem-ionos molekulák* az eluvium részecskéin *hidrogénkötéssel és van der Waals-féle erőkkel adszorbeálódhatnak*. A hidrogénkötésben a hidrogénatom hidat képez két elektronegatív atom között, az egyikhez gyenge elektrosztatikus kötéssel kapcsolódik, a másikhoz erősebb kovalens kötéssel kötődik. A hidrogénkötésre képes funkcionális csoportokhoz tartoznak a filloszilikátok banális rácssíkainak oxigénatomjai, a rácssíkokra merőleges irányban a hidroxidionok, valamint a szerves anyagok hidroxid-, karboxil- és amincsoportjai. Az individuális H-kötések viszonylag gyengék, de sok H-kötés összegződése erős molekulaadszorpciót eredményezhet.

A van der Waals erők csak a nemionos, nempoláris molekulák esetében tűnnek fő adszorpciós erőknek. Ez a vonzási erő additív, a molekula és adszorbensének minden atomja hozzájárul az összes kötési energiához (a molekulák közötti vonzás természetét pontosan nem ismerjük).



**5.7. ábra**

Az ioncsere-képesség és a fajlagos felület összefüggése különböző agyagásványok esetén (FANG, 1977.)

### 5.3. Az elvégzendő geotechnikai vizsgálatok csoportosítása

A hulladéklerakó helykijelölése, tervezése, építése és üzemeltetése során a döntések előkészítéséhez, meghozatalához nélkülözhetetlenek a geotechnikai vizsgálatok, amelyek elsősorban a területnek és a lerakó védelmi rendszere szigetelőképeségének a megítélésére irányulnak, azonban számos speciális problémával is találkozunk.

A következőkben a geotechnikai vizsgálatokat az alábbi csoportosítás szerint tárgyaljuk:

- *Minősítő, alkalmassági vizsgálatok*: ebben a fázisban a terület alkalmasságának megítéléséhez szükséges közetfizikai paramétereket, a szigetelőréteg anyagául javasolt talaj(ok) beépítési jellemzőit határozzuk meg. Ezen vizsgálatok közül alapvető jelentőségűek a vízzáróságra és annak várható változására irányuló laboratóriumi és helyszíni kísérletek.
- *Ellenőrző vizsgálatok*: nem elegendő csak meghatározni a megfelelő biztonságot nyújtó védelmi rendszer elemeit, annak felépítését. A kivitelezés során ellenőrizni kell, hogy teljesülnek-e az előzetes vizsgálatok és az előírások alapján meghatározott kívánalmak, valamint, hogy az altalaj és a beépített szigetelőréteg(ek) rendelkezik-e a megkívánt paraméterekkel.
- A geotechnikai vizsgálatok igen fontos részét jelentik az *állékonyságvizsgálatok*, amikor a depóniának a megcsúszással és elcsúszással szembeni biztonságát, valamint az altalaj várható süllyedését határozzuk meg. Mivel ezen vizsgálatok feltételezik a depónia szerkezeti elemeinek az ismeretét, ezért tárgyalásukra csak ezen ismeretek birtokában a 6.2.5. fejezetben kerül sor.

### 5.4. A geotechnikai minősítő és alkalmassági vizsgálatok

Ezen vizsgálatoknak egy része a mindennapos talajmechanikai-geotechnikai gyakorlatból jól ismert, egy részük előírásokkal is szabályozott. A következőkben éppen ezért az egyes vizsgálatok ismertetésénél a hangsúlyt a hulladéklerakók létesítése szempontjából fontos illetve esetenként speciális szempontokra helyezzük. Az elvégzendő vizsgálatokat az alábbiak szerint csoportosíthatjuk:

- osztályozási jellemzők-,
- tömöríthetőség, beépítési jellemzők-,
- szivárgási tényező-,
- szilárdsági és kompresszibilitási jellemzők meghatározása.

#### 5.4.1. Az osztályozási jellemzők és meghatározásuk

A hulladékelhelyezésre kijelölt terület - illetve a szigetelőréteggént beépíteni kívánt talajok - alkalmasságának a megítélését az osztályozási jellemzők meghatározásával kell kezdenünk. Ezen vizsgálatok alapján lehetőségünk nyílik eldönteni, hogy *egyáltalán számításba jöhet-e* a vizsgált terület vagy anyagnyerőhely a tervezett hasznosításra, valamely közetfizikai jellemző (pl. szervesanyag-tartalom) alapján nincs-e az alkalmazást korlátozó vagy tiltó előírás. Az elvégzendő vizsgálatok körét és a vonatkozó előírásokat (ha van) az **5.4. táblázat** foglalja össze. Ugyancsak megtalálhatjuk a táblázatban az illető paraméterre vonatkozó alkalmassági kritériumot.

A talajok talajmechanikai szempontból való osztályozását szemcsés talajoknál a *szemeloszlási görbe*, kötött talajoknál a *plasztikus index* alapján végezzük.

A szabvány előírásai szerint a *szemcseeloszlást szitálással és hidrometrálással* határozzuk meg. Általában gondot okoz a finom szemcsefrakció ( $D < 0,1 \div 0,06$ ) mm) súlyarányának a meghatározása. Különösen igaz ez az *agyagfrakció* ( $D < 0,002$  mm) mennyiségének a vizsgálatakor. A *szigetelőréteggént beépítendő talajoknál megkívánjuk, hogy az agyagfrakció mennyisége legyen több mint 20%* ( $S_{D<0,002} > 20\%$ ), és a *frakciónak több mint 50%-át alkossák az agyagásványok*. Az agyagfrakció súlyarányának a meghatározására a hidrometrálás helyett eredményesebben alkalmazhatjuk a

- pipettás elemzést (pl. KÖHN), ill.
- az ATTERBERG hengerben történő ülepitést és frakciónkénti leválasztást.

Mindkét módszernél kisebb a szuszpenzióban történő szemcseülepedés megzavarása, mint a hidrometrálás esetén. A vizsgálat pontosságát alapvetően meghatározza, hogy mennyiben tudjuk biztosítani a szemcsék teljes *diszpergálódását*, azaz megakadályozni az együtt ülepedő aggregátumok kialakulását. A koaguláció megakadályozására alkalmazhatunk nátriumoxalátot, nátrium-pirofoszfátot, nátrium karbonátot, vízüveget, stb. A német ajánlások (JESSBERGER, 1987.) az etilén-diamin-tetraecetsav alkalmazását javasolják, amellyel a diagenézis során kialakult szemcsekapcsolatok is hatékonyan megszüntethetők.

A kötött talajok (iszapok, agyagok) megnevezése a *plasztikus index*, állapotuk minősítése pedig a *relatív konzisztencia index* alapján történik. A természetes települési állapot *tömörségét* a *hézagtényező* és a *plasztikus index* segítségével jellemezhetjük (MSZ 111043/2).

Ezeket a vizsgálatokat minden esetben el kell végezni, mivel olcsó, jól reprodukálható vizsgálatokról van szó, amelyek mögött rendkívül nagy tapasztalat halmozódott föl, s így már ezen egyszerű vizsgálatok alapján is hasznos következtetéseket vonhatunk le és kijelölhetjük a további vizsgálatok rendjét.

#### 5.4. táblázat

| <i>A terület megkutatásakor a szigetelőréteg anyagának minősítésekor elvégzendő vizsgálatok, ill. meghatározandó közzefizikai jellemzők</i> |                               |                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>A meghatározandó paraméter</b>                                                                                                           | <b>A vizsgálat módja</b>      | <b>Alkalmassági, beépíthetőségi kritérium</b> |
| Szemcseeloszlás                                                                                                                             | MSZ 14043/3                   | $D_{max} = 63$ mm<br>$S_{D<0,002} \geq 20\%$  |
| Konzisztencia jellemzők<br>(folyási határ, sodrási határ, zsugorodási határ, plasztikus index, relatív konzisztencia index)                 | MSZ 14043/4                   | javasolt: $w_L \geq 25-30$<br>$I_p = 15-25\%$ |
| A talajt alkotó fázisok<br>(szilárd-víz-levegő) térfogat és súlyarányai                                                                     | MSZ 14043/5-6                 | -                                             |
| Szervesanyagtartalom<br>(izzítási veszteség, nedves oxidáció)                                                                               | MSZ 14043/9                   | max. 5%                                       |
| Vízfelvevőképesség                                                                                                                          | Enslin-Neff módszer           | $w_{max} \geq 80\%$                           |
| Mész tartalom                                                                                                                               | Scheibler-készülékkel         | $CaCO_3\% < 10\%$                             |
| Ásvány-közetani vizsgálatok<br>(agyagásványtartalom)                                                                                        | röntgen és termikus elemzések | Agyagásványtartalom nagyobb mint 10%          |

Az altalaj, ill. a beépíthetőség szempontjából ugyancsak fontos konzisztencia jellemző a *zsugorodási határ* ( $w_s$ ). A térfogatváltozás szempontjából elsősorban a nagy montmorillonit és

illit tartalmú talajok veszélyesek. Meghatározásuk történhet mind természetes állapotú, mind átgyúrt, hengeres sablonnal készített mintákon (KÉZDI, 1976.). A tapasztalatok szerint a térfogatváltozás veszélyére a kolloidtartalomtól függő talajfizikai jellemzők is figyelmeztetnek (5.5. táblázat).

5.5. táblázat

| <i>A térfogatváltozás mértékének megítélése a talajfizikai jellemzők alapján</i> |                      |                              |                               |                           |                        |                            |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------|
| Veszélyességi kategória                                                          | Kolloid tartalom (%) | Plasztikus index ( $I_p$ ;%) | Zsugorodási határ ( $w_s$ ;%) | Max. térfogatváltozás (%) | Duzzadási nyomás (kPa) | A térfogatváltozás mértéke |
| I.                                                                               | >30                  | >40                          | <8                            | >40                       | >200                   | igen nagy                  |
| II.                                                                              | 15...35              | 25...45                      | 8...14                        | 20...40                   | 120..200               | nagy                       |
| III.                                                                             | 10...20              | 20...30                      | 10...15                       | 10...20                   | 50..120                | közepes                    |
| IV.                                                                              | <10                  | <0                           | >15                           | <10                       | <50                    | csekély                    |

A zsugorodási határ mellett elterjedt a *lineáris zsugorodás* ( $ZS_L$ ) használata is. Térfogatváltozás szempontjából a tapasztalat szerint azokat a talajokat nevezzük veszélyesnek, amelyeknél  $ZS_L \geq 5\%$ . A SKEMPTON-féle aktivitási mutató (A) használata hazánkban kevésbé terjedt el, pedig igen jól használható az agyag várható viselkedésének becslésére. Számértékét az

$$A = \frac{I_p}{S_{D<0,002}}$$

összefüggésből határozhatjuk meg, ahol:

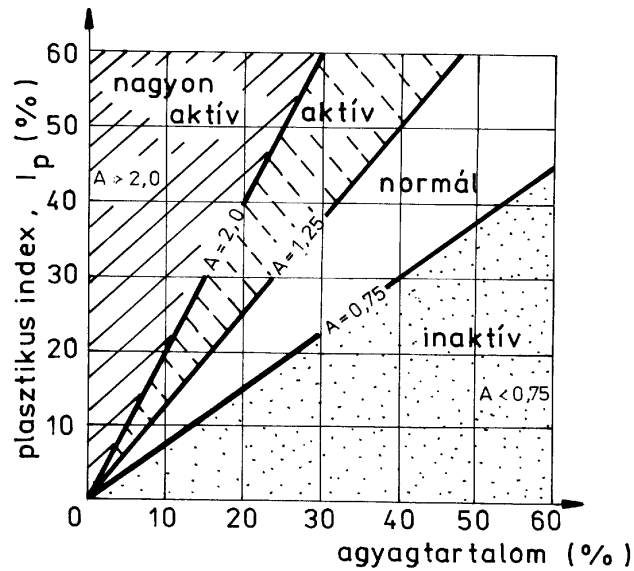
$I_p$ : a plasztikus index (%);

$S_{D<0,002}$ : az agyagtartalom (%).

Az agyagtartalom meghatározása az előzőekben leírtak szerint történik.

A SKEMPTON féle aktivitási diagramot az **5.8. ábra** tünteti fel. Az aktivitási számból a talajok térfogatváltozására is következtetni lehet:

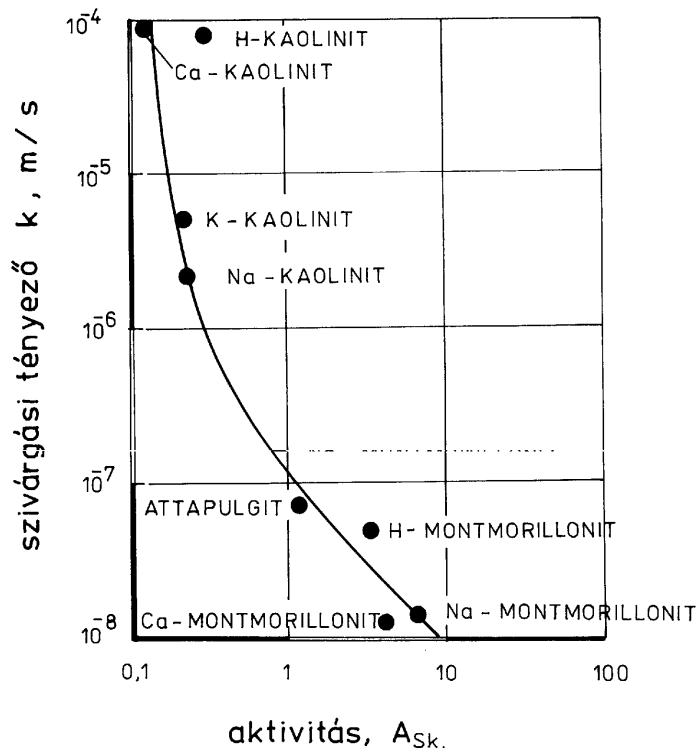
nem veszélyes, ha  $A < 0,75$   
normális, ha  $0,75 \leq A \leq 1,25$   
veszélyes, ha  $1,25 < A$



5.8. ábra

A Skempton-féle aktivitási diagram

A SKEMPTON féle aktivitási szám közvetve az agyagásványos összetételre is utalhat. Az 5.9. ábra a szivargási tényező, az ásványos összetétel és az aktivitási szám kapcsolatát mutatja be (részletesen lásd később a 5.4.5. fejezetben).



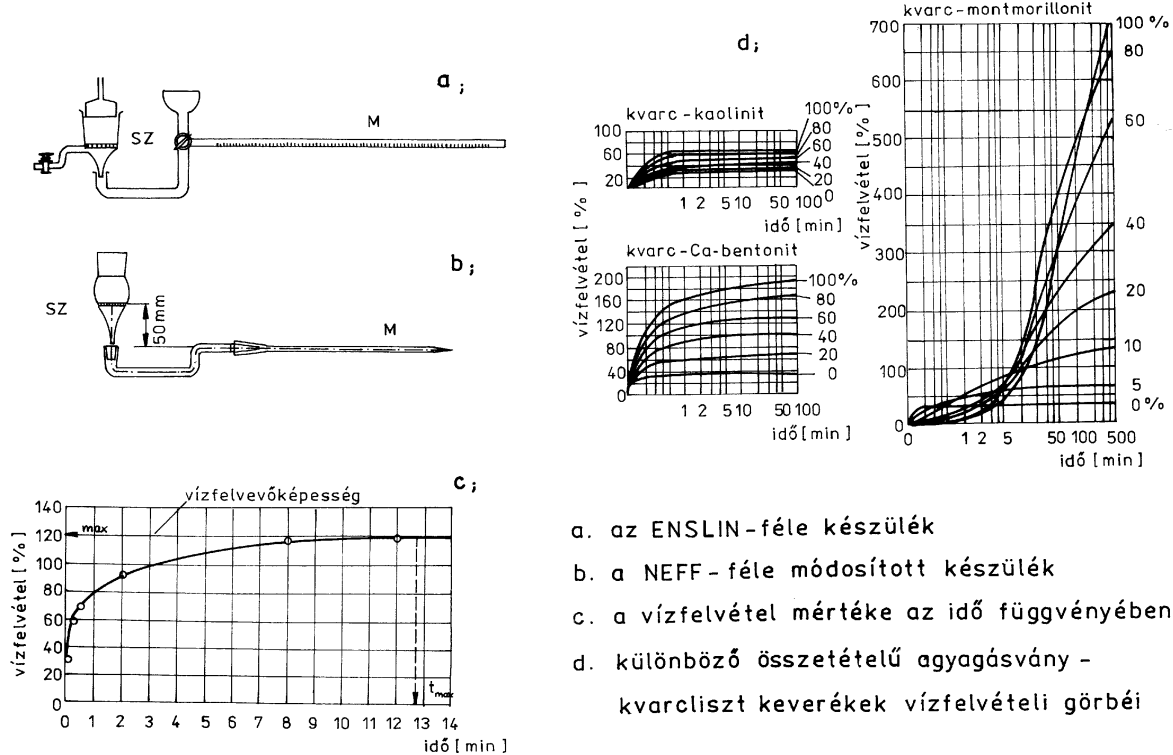
5.9. ábra

A Skempton-féle aktivitás, a szivargási tényező és az ásványos összetétel kapcsolata (ACAR - SEALS, 1984.)



A kötött talajok viselkedésére közvetett úton kaphatunk tájékoztatást a *vízfelvevő képesség* meghatározásával. A vizsgálati módszer már régóta ismert (SCHULTZE-MUHS, 1967.), hazánkban azonban nem nagyon terjedt el.

Németországban, a hulladékdepóniák geotechnikai kérdéseivel foglalkozó munkabizottság a vízfelvevő képesség meghatározását a talajosztályozási vizsgálatok között kifejezetten szükségesnek tartja (JESSBERGER, 1987-1994.). A vízfelvevő képesség azt a vízmennyiséget jelenti száraz súlyszázalékban kifejezve, amit a talaj 0,06 mm-nél kisebb szemcséi száraz állapotban fel képesek szívni. A vizsgálatot az ún. ENSLIN készülékkel, ill. annak NEFF által javított változatával végezhetjük el (5.10.a. és b. ábrák). A kísérlet előtt a víznívót a szűrőkö színtjében kell beállítani. A 0,3 g tömegű, 105°C-on 5 órán át szárított mintát az SZ jelű szűrőköre helyezve, a kapilláris szívócső hatására a víz a mintába bejut. A felszívott vízmennyiséget az M mérőpipettán mérhetjük, s figyelemmel kísérhetjük a vízfelszívás sebességét. A kísérlet időtartamának legalább 24 órának kell lennie. A felszívott vízmennyiséget az idő függvényében ábrázolva meghatározható a *maximális vízfelvevő képesség* ( $w_{max}$ : ENSLIN-érték) és a hozzá tartozó  $t_{max}$  idő, amelynek az értéke jellemző a szívási sebességre (5.10.c. ábra). A szívási sebesség annál kisebb és a hozzá tartozó  $t_{max}$  annál nagyobb minél nagyobb, a felvett  $w_{max}$  vízmennyiség. Minél nagyobb egy talaj vízfelvevő képessége, annál nagyobb az agyagtartalma. A vízfelvevő képesség azonban nemcsak a szemcseméretnek, hanem az agyagásványos összetételnek is függvénye, s így közvetve egy viszonylag egyszerű és olcsó kísérlettel az altalaj vagy a szigetelőréteg agyagásványos összetételéről is képet kaphatunk. (5.10.c. ábra). Kedvezőnek minősítjük a talaj agyagásványos összetételét, ha a maximális vízfelvevő képesség ( $w_{max}$ ) értéke legalább 80%.



- a. az ENSLIN-féle készülék
- b. a NEFF-féle módosított készülék
- c. a vízfelvétel mértéke az idő függvényében
- d. különböző összetételű agyagásvány - kvarcrist keverékek vízfelvételi görbéi

5.10. ábra

A maximális vízfelvevőképesség meghatározása

A *szervesanyag-tartalom* meghatározása is szükséges lehet a minősítő vizsgálatoknál. Kötött talajoknál az 5%-ot, szemcsés talajoknál a 3%-ot meghaladó szervesanyag-tartalom esetén minősül a kőzet talajmechanikai szempontból "szerves"-nek, s így beépítésre, vagy a depónia altalajaként alkalmatlan. A szervesanyag-tartalom meghatározását a szabvány szerinti oxidimetriás-titrálással kell végezni. Az *izzítási veszteség* meghatározása csak tájékoztató adatként fogadható el, mivel itt az izzítás során nemcsak a szerves alkotórészek égnek ki, hanem a kötött és kristályvíz is eltávozik, amit a súlyvesztés mérésekor nem tudunk szétválasztani.

A *mész-tartalom* meghatározása a jól ismert SCHEIBLER módszerrel történhet (KÉZDI, 1976.). Meghatározása különösen fontos akkor, ha a szigetelőréteg szemcsés anyag és bentonit keverékből készül. A szemcsés anyagban a megengedett mértékű mész-tartalom <10%, és a 0,06 mm-nél kisebb átmérőjű frakcióban sem lehet több mint 30% (HORN, 1989.).

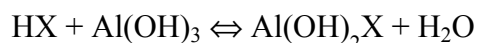
Az *ásvány-kőzettani vizsgálatok* elvégzése minden esetben szükséges, mert azonos közetfizikai jellemzők is erősen eltérő ásvány-kőzettani összetételt takarhatnak. Hulladéklerakóknál a természetes anyagú szigetelőréteggé hasznosítani kívánt kőzetnél megkívánjuk, hogy *legalább 10% agyagásvány-tartalma legyen*. Az előforduló agyagásványok mennyiségi és minőségi meghatározására leginkább a *termikus elemzések* (DTA, DTG) és a *röntgendiffrakciós módszer* ajánlott és terjedt el. Az ásvány-kőzettani összetétel mellett a csurgalékvíz és a szigetelőréteg kompatibilitásának megítélésére szükség lehet a *kationcserélő kapacitás és a kicserélhető kationok összetételének a meghatározására* (JESSBERGER, 1987-1994.) is.

A kicserélhető kationok összes mennyiségének meghatározásakor a kationcserélődést a reakció teljes végbemenetelének irányába kényszerítik. Erre kétféle módszer van (BOHN et al., 1985.). Az egyikben a talajmintát teljesen átöblítik egy kicserélő kationt tartalmazó oldattal, hogy minden kicserélési töltéshelyet elfoglaljon. Az átmosási folyamat során lecserelődő ionok az oldatban mérésrel meghatározhatók és megállapítható az eredeti kicserélhető kation-összetétel. A másik módszer a talajminta ismételt átmosásából áll (néhányzori ciklusban, ami a helyettesítő kationt tartalmazó oldat hozzáadását, rázását, centrifugálását és a tiszta oldat leöntését jelenti). Az összegyűjtött oldatok elemzése alapján az eredetileg kicserélhető ionok mennyisége külön-külön meghatározható. A helyettesítő ion fölöslege minden mosási lépésben a befejezés felé viszi a reakciót.

A kationcserélő kapacitás meghatározásakor a telítő oldat kationjával telített talajt az oldható sóktól mentesre mossák ki. Ezekhez gyakran vizes alkoholt használnak, hogy a minta ne diszpergálódjék és megakadályozzák a telítő kation hidrolízisét:



ahol X a kicserélő felületet jelöli és a  $\text{Na}^+$  a telítő kation. A  $\text{H}^+$ -agyag instabil és gyorsan szétesik. A szétesést közelítően a következő reakció írja le:



Ezután a telítő kationt egy másik sóoldattal vonják ki a talajból. A telítő kation így kivont mennyisége a *kationcserélő kapacitás* (CEC). Az **5.3. táblázat** a fontosabb agyagásványok és talajkolloidok néhány jellemzőjét, köztük a kationcserélő kapacitást tartalmazza (FILEP, 1988.). Mint látható, a humuszvegyületek rendelkeznek a legnagyobb CEC értékkel, a szennyeződés migrációjára gyakorolt hatásuk mégis jelentéktelen, ugyanis a hulladéklerakók létesítésekor eltávolítják a humuszban gazdag talajzónát.

A hulladéklerakónál a kationcserélő képesség alapján következtethetünk az *altalaj vagy a szigetelőréteg adszorpciós kapacitására*, aminek a megítélésénél használhatjuk az **5.6. táblázat** szerinti rangsorolást (OWEIS-KHERA, 1990.).

5.6. táblázat

| <i>Az altalaj vagy a szigetelőréteg adszorpciós kapacitásának minősítése (OWEIS-KHERA, 1990.)</i> |                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| A kationcserélő kapacitás értéke<br>(T-érték; mekv/100g)                                          | Altalaj-, ill. szigetelőréteggént való alkalmaz-<br>masság |
| > 25                                                                                              | nagyon jó                                                  |
| 15-25                                                                                             | jó                                                         |
| < 15                                                                                              | kedvezőtlen                                                |

Az **5.7. táblázat** a hódmezővásárhelyi kommunális hulladék-lerakó altalajának vizsgálati eredményeiből szemléltet néhányat. Az agyagásványtartalom meghatározása DTA, illetve röntgendiffrakciós vizsgálatokkal történt. Látható, hogy a *kedvező agyagásványos összetétel* és *kationcserélő kapacitás* (  $T = 19,1 - 27,5$  mekv/100 g) mellett a minták *vízzárósága* is igen kedvező volt ( $k < 10^{-9}$  m/s).

5.7. táblázat

| A hódmezővásárhelyi kommunálshulladék-lerakó altalajának vizsgálati eredményei |                    |                    |                   |      |     |                                      |                  |                 |                |       |       |      |       |                       |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|------|-----|--------------------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------|-------|------|-------|-----------------------|
| A minta jele, anyaga                                                           | w <sub>L</sub> (%) | I <sub>p</sub> (%) | Agyagásványok (%) |      |     | Kationcserélő kapacitás (mgeé/100 g) |                  |                 |                |       |       |      | V (%) | k (m/s)               |
|                                                                                |                    |                    |                   | DTA  | Rtg | Ca <sup>2+</sup>                     | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | S     | T     | T-S  |       |                       |
| Barna kövér agyag<br>(11/0,8)                                                  | 48,1               | 31,1               | montm.            | < 22 | 17  | 1,50                                 | 4,90             | 17,54           | 0,22           | 24,16 | 24,16 | 0    | 100   | 1,9x10 <sup>-10</sup> |
|                                                                                |                    |                    | illit             | 14   | 12  |                                      |                  |                 |                |       |       |      |       |                       |
|                                                                                |                    |                    | kaolinit          | 8    | 4   |                                      |                  |                 |                |       |       |      |       |                       |
| Sárgásbarna kövér agyag<br>(12/0,3)                                            | 50,2               | 30,5               | montm.            | 7    | 6   | 3,60                                 | 7,00             | 0,75            | 0,33           | 11,66 | 19,16 | 7,50 | 60,96 | 6,4x10 <sup>-10</sup> |
|                                                                                |                    |                    | illit             | 1    |     |                                      |                  |                 |                |       |       |      |       |                       |
|                                                                                |                    |                    | kaolinit          | 6    | 6   |                                      |                  |                 |                |       |       |      |       |                       |
| Sárga sovány agyag<br>(13/1,7)                                                 | 32,2               | 15,6               | montm.            | 15   | 11  | 11,90                                | 6,01             | 9,50            | 0,09           | 27,50 | 27,50 | 0    | 100   | 8,9x10 <sup>-10</sup> |
|                                                                                |                    |                    | illit             | 1    |     |                                      |                  |                 |                |       |       |      |       |                       |
|                                                                                |                    |                    | kaolinit          | 3    | 6   |                                      |                  |                 |                |       |       |      |       |                       |

Jelölések: w<sub>L</sub> : folyási határ  
 I<sub>p</sub> : plasztikus index  
 DTA; Rtg : termikus ill. röntgen elemzések eredményei  
 T : a talaj kationcserélő képessége  
 S : a kicserélhető kationok összege (a kicserélő oldat hatására oldatba kerülő Ca<sup>2+</sup>; Mg<sup>2+</sup>; Na<sup>+</sup>; K<sup>+</sup> ionok összege)  
 T-S : a fémkationokkal le nem kötött adszorpciós helyek mennyisége  
 V : talaj telítettsége (a lehetséges adszorpciós helyek közül mennyi van egy- és kétértékű kationokkal elfoglalva)

#### 5.4.2. A tömöríthetőség és a beépítési jellemzők meghatározása

A talajok tömöríthetőségének a meghatározására a világon általánosan elterjedt az ún. *Proctor-vizsgálat*, ami azon a közismert jelenségen alapul, hogy mind a túl száraz mind a túl nedves talaj csak nehezen tömöríthető. A két állapot között kell egy *optimális víztartalom* értéknek lennie, amelynél a talaj a legkönnyebben építhető be. A Proctor kísérlet a természetes anyagú szigetelőrétegek beépítési viszonyainak meghatározásánál az egyik legfontosabb vizsgálat, amellyel egyrészt meghatározzuk a beépítési viszonyokat, másrészt a különböző tömörségű és víztartalmú mintákat tovább vizsgálva felvilágosítást kaphatunk a beépítésre kerülő szigetelőréteg *várható vízzáróságáról*. Ezért a tömörítési vizsgálatokat hulladéklerakók tervezése esetében minden esetben *össze kell kapcsolni a szivárgási tényező meghatározásával*.

A vizsgálat során a különböző víztartalmú talajmintákat az **5.8. táblázatban** foglalt jellemzőknek megfelelően tömörítik be. Az összetartozó víztartalom (w), száraz állapot térfogatsűrűség (ρ<sub>d</sub>) értékpárokat az **5.11. ábra** szerint feldolgozva a görbe csúcspontja határozza meg a beépítés *optimális víztartalmát* (w<sub>opt</sub>) és az adott fajlagos tömörítő munkával elérhető *maximális száraz állapot térfogatsűrűség* (ρ<sub>d</sub><sup>max</sup>) értékét.

A földmunka (pl. szigetelőréteg) tömörségi előírásait, ill. az elért *tömörségi fokot* (T<sub>rp</sub>) a tömörített rétegben mérhető száraz állapot térfogatsűrűség (ρ<sub>d</sub>) és a Proctor vizsgálatmal meghatározott maximális száraz állapot térfogatsűrűség hányadosaként fejezzük ki:

$$T_{rp} = \frac{\rho_d}{\rho_d^{\max}}$$



5.8. táblázat

| A Proctor-vizsgálatok adatai           |                   |                    |                                 |                              |                                 |                       |                                   |                                            |
|----------------------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|
| A kísérlet<br>fajtája                  | A mintahenger     |                    |                                 | A<br>döngölő<br>súlya<br>(N) | Ejtési<br>magas-<br>ság<br>(cm) | A<br>rétegek<br>száma | Az ütések<br>száma<br>rétegenként | A fajlagos tömörítő<br>munka<br>(kJ/liter) |
|                                        | átmérője,<br>(mm) | magassága,<br>(mm) | térfogata<br>(cm <sup>3</sup> ) |                              |                                 |                       |                                   |                                            |
| Standard (normál)<br>Proctor           | 102               | 116                | 950                             | 25                           | 30,5                            | 3                     | 25                                | 0,588                                      |
|                                        | 152               | 114                | 2080                            | 25                           | 30,5                            | 3                     | 25                                | 0,588                                      |
| Módosított<br>Proctor<br>(MSZ 14043/7) | 102               | 116                | 950                             | 45                           | 46                              | 5                     | 25                                | 2,65                                       |
|                                        | 152               | 114                | 2080                            | 45                           | 46                              | 5                     | 25                                | 2,65                                       |

Hazánkban az MSZ 14043/7 szerint a  $\rho_d^{\max}$  és a  $w_{\text{opt}}$  értékét a módosított Proctor-vizsgálat előírásainak megfelelően kell meghatározni. A szokványos talajok tömörítési jellemzőinek tájékoztató értékeit foglalja össze az **5.9. táblázat**.

5.9. táblázat

| Szokványos talajok tömörítési sajátosságainak tájékoztató értékei |                                            |                                     |                                                        |                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Talajnem                                                          | Plasztikus<br>index<br>(I <sub>p</sub> ;%) | Egyenlőtlenégi<br>együttható<br>(U) | Legkedvezőbb<br>víztartalom<br>( $w_{\text{opt}}$ ; %) | Legnagyobb száraz<br>térfogatsűrűség,<br>( $\rho_d^{\max}$ ; g/cm <sup>3</sup> ) |
| Homokos kavics, kavicsos homok                                    | -                                          | -                                   | 4 - 7                                                  | 1,95-2,25                                                                        |
| Iszapos kavics, iszapos kőtörmelék                                | -                                          | -                                   | 5 -10                                                  | 2,00-2,25                                                                        |
| Finom homok (futóhomok)                                           | -                                          | 1,3-2,7                             | 5 - 9                                                  | 1,70-1,82                                                                        |
| Finom homok (Balatonparti)                                        | -                                          | 1,3-1,7                             | 4 - 8                                                  | 1,58-1,66                                                                        |
| Iszapos homok                                                     | -                                          | 2,5-5,0                             | 8 -12                                                  | 1,82-2,05                                                                        |
| Iszapos homokliszt, homokliszt                                    | 0 -10                                      | -                                   | 9 -13                                                  | 1,90-1,98                                                                        |
| Iszap                                                             | 10-15                                      | -                                   | 10-14                                                  | 1,85-1,95                                                                        |
| Sovány agyag                                                      | 15-20                                      | -                                   | 11-17                                                  | 1,75-1,92                                                                        |
| Közepes agyag                                                     | 20-30                                      | -                                   | 13-18                                                  | 1,72-1,88                                                                        |
| Kövért agyag                                                      | 30-(45)                                    | -                                   | 14-20                                                  | 1,65-1,80                                                                        |

A gyakorlatban számos tapasztalati összefüggés ismert a tömörítési jellemzők becsléssel történő meghatározására. A hulladéklerakók szigetelőrétegeként történő alkalmazásnál ezen összefüggések használata nem célszerű, minden esetben szükséges a vizsgálatok elvégzése, mert nemcsak a beépítési jellemzőkre (sőt, elsősorban nem arra), hanem a különböző víztartalmak és tömörségek mellett várható vízzáróság értékére vagyunk kíváncsiak.

Többször okoz problémát (különösen a külföldi és magyar közös beruházásban épülő lerakóknál) a különböző fajlagos tömörítő munka mellett meghatározott beépítési jellemzők átszámíthatósága. ERVIN (1993.) számos vizsgálat eredményét feldolgozva a testsűrűségek átszámítására az alábbi összefüggést javasolja:

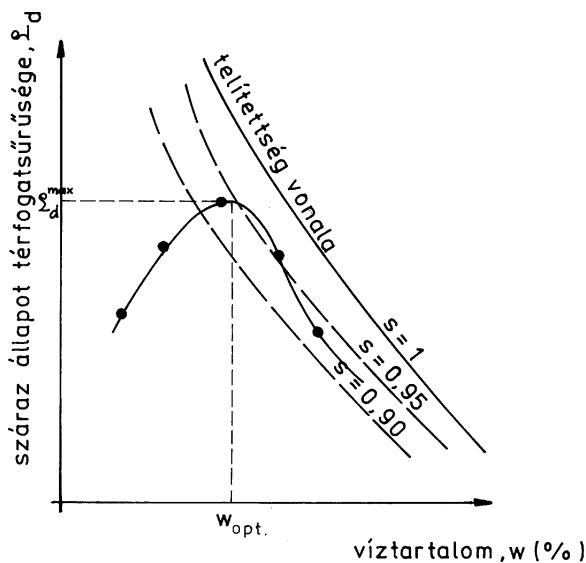
$$\rho_{\text{mód}} = 0,832 \times \rho_{\text{std}} + 0,47$$

ahol:  $\rho_{\text{mód}}$ : a módosított Proctor-vizsgálat eredménye,

$\rho_{\text{std}}$ : a standard (normál) Proctor-vizsgálat eredménye.

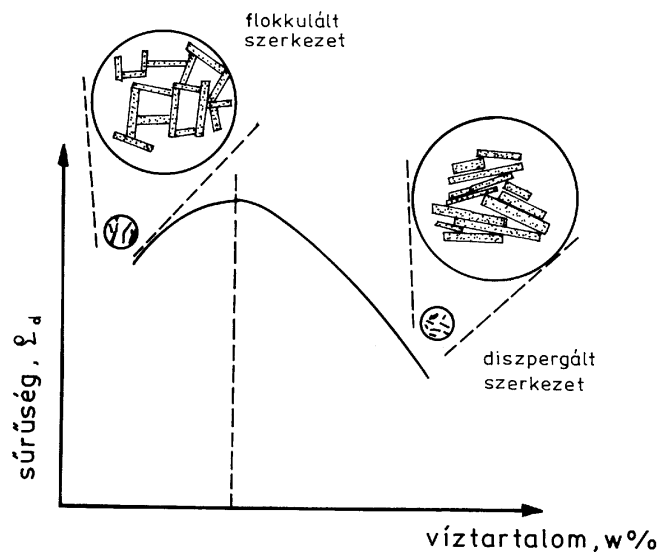
Az átszámításnál nem hagyhatjuk figyelmen kívül, hogy a fajlagos tömörítő munka változásánál nemcsak a kapott testsűrűség értéke, hanem az optimális tömörítési víztartalom is változik, mint az az **5.13. ábrán** is látható.

A tömörítő munka nagysága, a tömörítés módja, az optimális viszonyoktól való eltérés és a kísérleti körülmények is mind befolyásolják a szivárgási tényező várható értékét. A következőkben ezért megvizsgáljuk azokat a hatásokat, amelyek a tömörített réteg vízzáróságát befolyásolják.



5.11. ábra

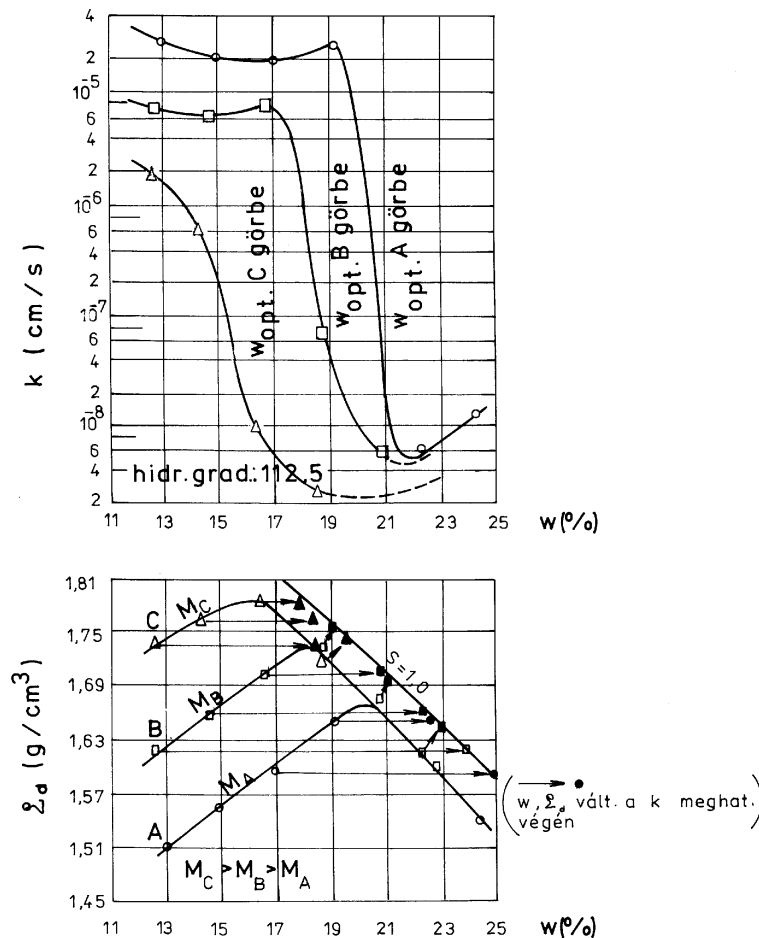
A tömörítési vizsgálat eredményeinek feldolgozása



5.12. ábra

A víztartalom hatása a tömörített talaj szerkezetére (LAMBE, 1958.)

Már LAMBE (1958.) rámutatott, hogy a tömörítés során a víztartalomtól függően más-más talajszerkezet alakul ki (**5.12. ábra**). A száraz oldali ágon a víztartalom olyan kicsi, hogy a részecskék közötti tasztóerők még kisebbek, mint a vonzóerők, az eredő hatás tehát vonzás, a részecskék *koagulálnak*, aminek az eredménye egy szabálytalan elrendeződés (KÉZDI, 1970.). Ha a víztartalom nő, akkor a tasztó erő is nő a részecskék között, így azok *diszpergálódnak*, miáltal könnyebben tudnak rendezett szerkezetet létrehozni. A nagyobb rendezettség nagyobb tömörséggel jár, majd a  $w_{opt}$ -nál nagyobb víztartalmak mellett a rendezettségi fok ugyan tovább nő, de a víz egyre nagyobb térfogatot foglal el és a térfogatsűrűség értéke csökkenni kezd. Ha a tömörítő munka nagyobb, akkor a rendezettség mindegyik esetben nagyobb, tehát a tömörség is nő.

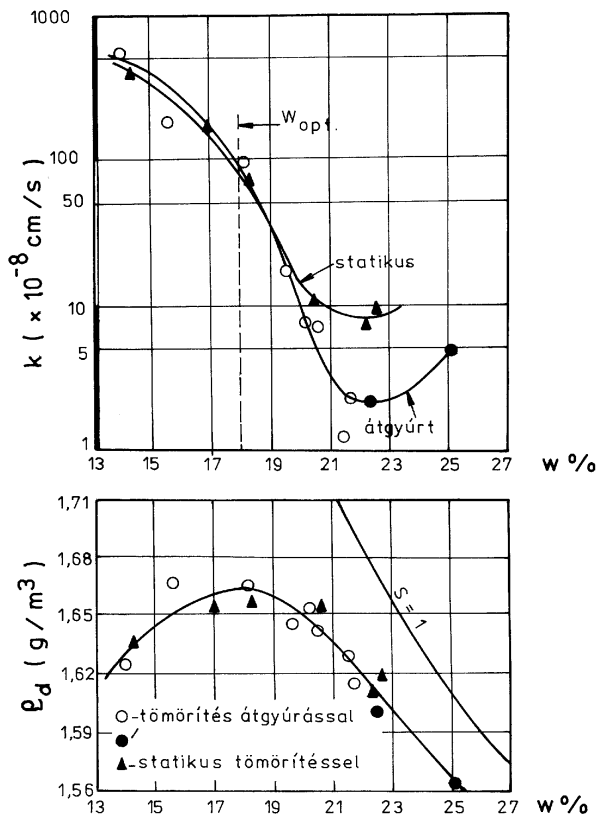


5.13. ábra

Az iszapos agyag szivárgási tényező értékének változása különböző tömörítési munkák (M) mellett, ha  $S=1$  (MITCHELL et al., 1965.)

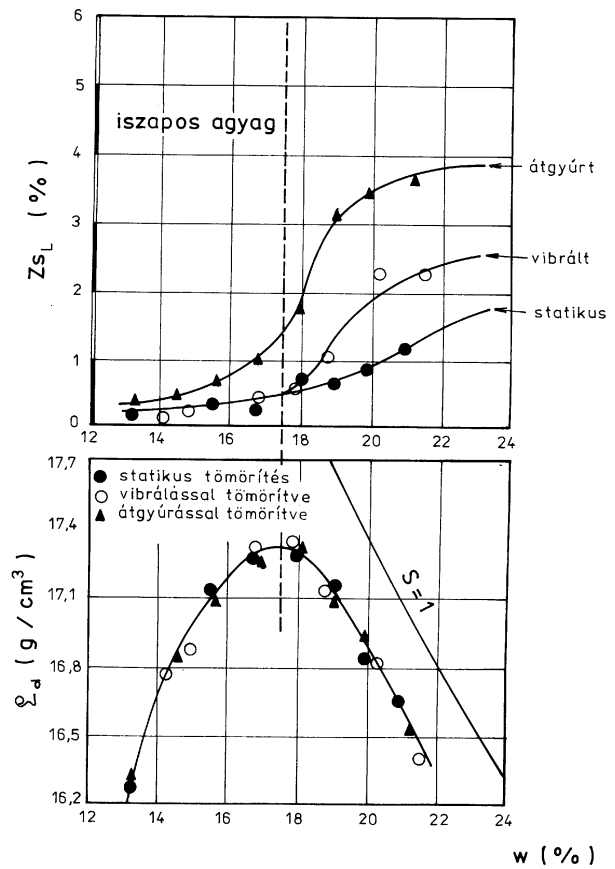
A tömörítés során kialakuló szerkezet nyilvánvalóan kapcsolatban van a szivárgási tényezővel, s az optimális tömörítési víztartalomnál kisebb víztartalmak melletti beépítésnél a flokkulált szerkezet miatt nagyságrendekkel is megnőhet a szivárgási tényező. Jól szemlélteti ezt az 5.13. ábra (MITCHELL et al., 1965.). Az ábrán az üres jelek a kísérlet elejére, a "tele" jelek a kísérlet végére vonatkozó víztartalmat jelentik. Látható, hogy a permeabilitás-vizsgálat végére a minták telítődnek, s a "tele" pontok az  $S=1$  görbe mentén rendeződnek. Ugyanez az ábra hívja fel a figyelmet a *tömörítő munka*, az *optimális beépítési víztartalom* és a *szivárgási tényező* kapcsolatára is. Értelemszerűen, *nagyobb fajlagos tömörítőmunkához* (C jelű görbe) *kisebb  $w_{opt}$* , és *kisebb szivárgási tényező* tartozik. A kísérletek alapján célszerűnek látszik az elérni kívánt minimális szivárgási tényező értékhez meghatározni a szükséges fajlagos tömörítő munkát is, s azt helyszíni vizsgálatokkal ellenőrizni. Ez azért szükséges, mert laboratóriumi viszonyok között egészen más körülmények mellett történik a tömörítés, mint a helyszínen, s mint azt az 5.14. és 5.15. ábra mutatja a *tömörítés módja* is jelentős hatással van a beépített réteg közt fizikai jellemzőire. Látható, hogy bár a különböző tömörítési módokhoz azonos Proctor görbe tartozik, mégis jelentősen eltér mind a szivárgási tényező, mind a lineáris zsugorodás értéke, ami különösen a "nedves" oldali beépítési víztartalmak mellett domináns.





5.14. ábra

A tömörítési mód hatása az agyag szivargási tényezőjére (MITCHELL et al., 1965.)



5.15. ábra

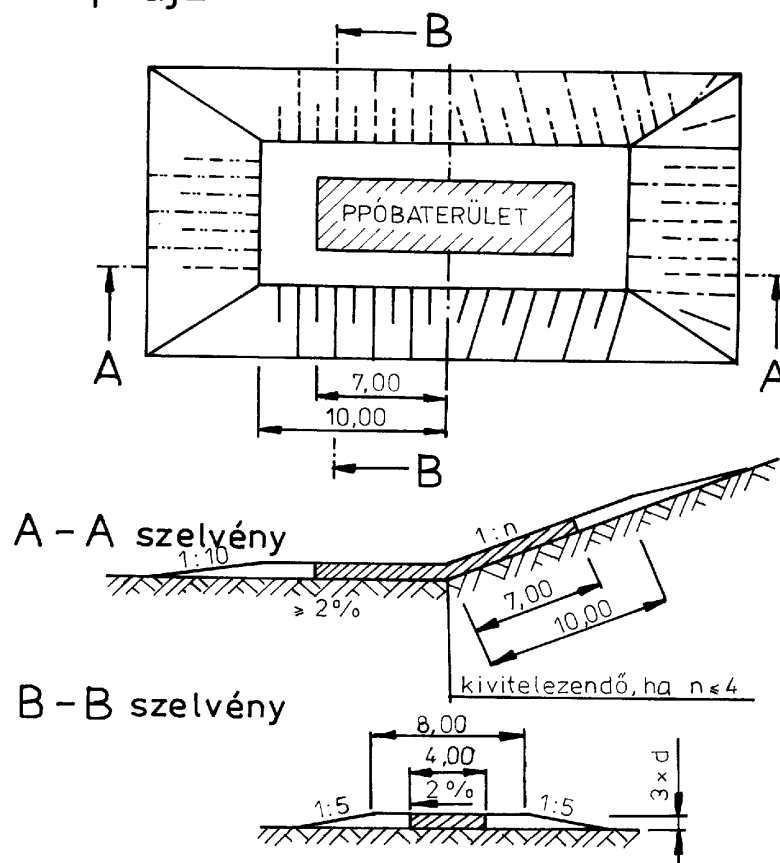
A tömörítési mód hatása a lineáris zsugorodás értékére (MITCHELL et al., 1965.)

Német ajánlások (DÜLLMANN, 1985.) a *helyszíni próbatömörítést* minden olyan esetben szükségesnek tartják, amikor nem rendelkezünk kellő tapasztalattal és konkrét mérési eredményekkel a beépítendő anyaggal kapcsolatban a *tömörítő gép típusát*, a *beépítési rétegvastagságot* és a *szükséges járatszámot* illetően. Ha a természetes anyagú szigetelés javítása (pl. bentonittal) szükséges, akkor az optimális keverési arány kritériumait is meg kell határozni. A helyszíni próbatömörítés és a hozzá kapcsolódó in situ vizsgálatok célja, hogy meghatározzuk az előírt földmunka minőségbiztosításának a módját és meghatározzuk az *ellenőrző* és *műszaki átvételi vizsgálatokhoz* szükséges gyors és egyszerű mérési módszereket. A helyszíni vizsgálatokra vonatkozóan hazai előírás nincs, így a *próbamező* lehetséges kialakításának osztrák, német és amerikai előírásait mutatják be az **5.16.-5.17. ábrák**. A vizsgálatok végrehajtásánál az alábbiak betartása javasolt:

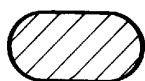
- A tömörítést ugyanazzal a talajjal és eszközzel kell végrehajtani, mint amelyeket a szigetelőréteg beépítésekor szándékozunk felhasználni.
- A kialakított terület legalább 3,0 ÷ 4-szer szélesebb legyen, mint a tömörítőgép által tömörített sáv.
- A területnek elég nagyoknak kell lennie ahhoz, hogy a gép az üzemi sebességét elérhesse még a próbaterület előtt (vonalkázott terület az ábrán).

- Legalább három 15-25 cm vastag réteg próbatömörítését kell elvégezni.
- Kedvező, ha a szigetelőréteg alá már a próbatömörítéskor is beépítik a szűrőréteget, ha az a lerakónál is alkalmazásra kerül.
- A próbatömörítési területen helyszíni szivárgási tényező vizsgálatokat is kell végezni, amit össze kell vetni a laboratóriumi mérési eredményekkel. A helyszíni méréseknél célszerű a csőinfiltróméter használata (l. az 5.4.3. fejezetben).

### Alaprajz



előkészített felület (tükör)



próbatérület

n: a tervezett legnagyobb lejtés

d: a szigetelőréteg vastagsága

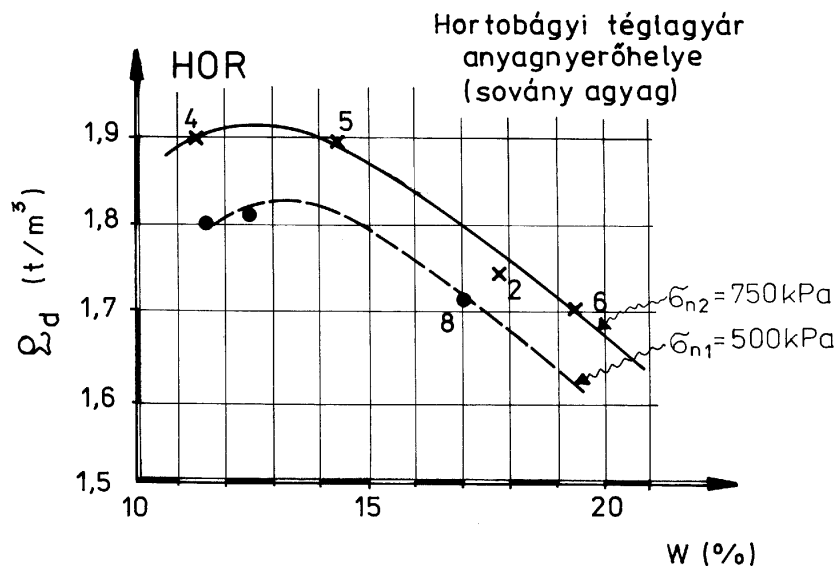
### 5.16. ábra

Egy próbatérület rendszervázlata a minimális méretekkel  
(méterben megadva)  
(ÖNORM S2074/2.)



Az **5.18. és 5.19. ábrák** a debreceni kommunálshulladék-lerakó aljzatszigeteléséhez felhasználni kívánt sovány agyag előzetes laboratóriumi- és helyszíni próbatömörítési vizsgálatainak az eredményeit foglalják össze. A *laboratóriumi vizsgálatok* azt jelezték, hogy megfelelő tömörség mellett a nedves oldali ág mintái (5-2-6 jelűek) megfelelő vízzárósgot mutattak ( $k < 10^{-9}$  m/s). Látható, hogy a száraz oldali ágon a 4. minta szivárgási tényezője közel egy nagyságrenddel volt nagyobb, mint az ugyanolyan tömörségű 5. jelű mintáé. A *helyszíni vizsgálatok* igazolták a laboratóriumi eredményeket (**5.19. ábra**), és megfelelő tömörítő munka esetén a megkívánt  $k < 10^{-9}$  m/s szivárgási tényező biztosítható volt.

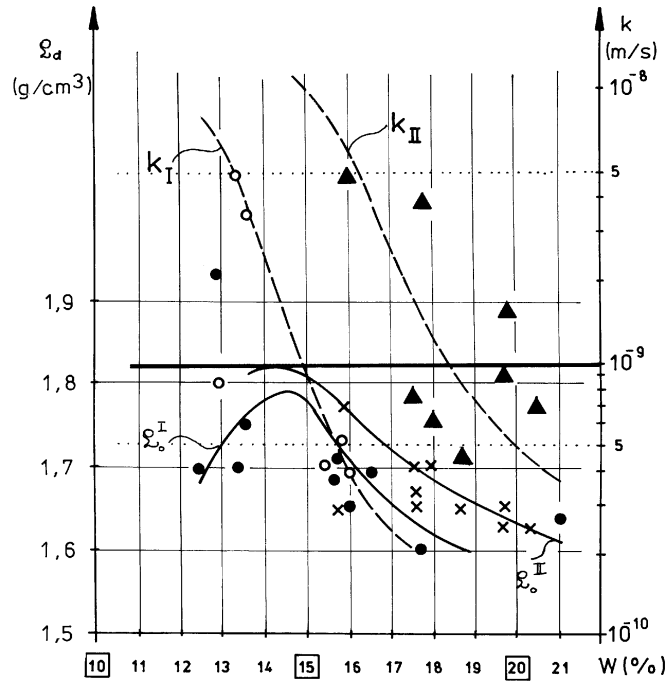
MITCHELL kísérletei arra is rámutattak, hogy az sem érdektelen, hogy a tömörítési kísérlet után mennyi idő telik el a szivárgási tényező meghatározásáig. Az idő növekedtével nagyobb  $k$ -tényező értékeket kapott, amit az agyag tixotróp tulajdonságával magyarázott (**5.20. ábra**).



| Mintaszám | w (%) | $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Szivárgási tényező, (k; m/s) |
|-----------|-------|-------------------------------|------------------------------|
| 4         | 11,4  | 1,89                          | 2,17E-9                      |
| 5         | 14,3  | 1,89                          | 3,50E-8                      |
| 2         | 17,9  | 1,74                          | 2,50E-8                      |
| 6         | 19,4  | 1,70                          | 3,70E-8                      |
| 8         | 17,1  | 1,71                          | 1,40E-9                      |

**5.18. ábra**

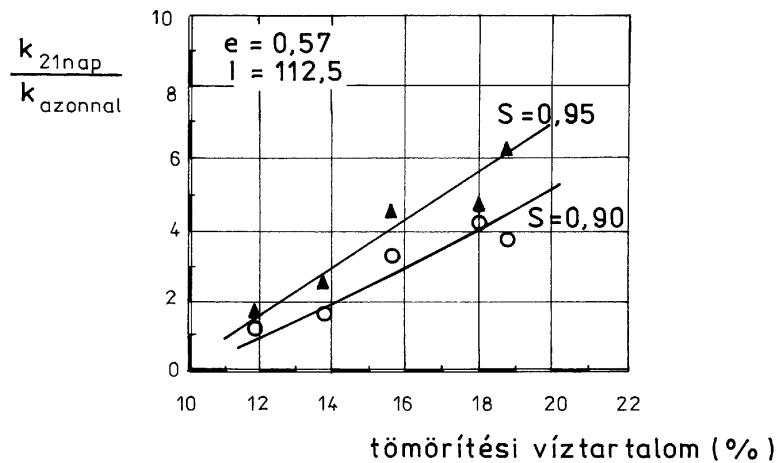
A debreceni kommunálshulladék-lerakó aljzatszigetelő rétegének előzetes laboratóriumi vizsgálata



|     |                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------|
| I.  | az első próbatömörítés eredménye                      |
| II. | a második próbatömörítés eredménye                    |
| ● × | összetartozó testsűrűség-víz tartalom értékpár        |
| ○ Δ | összetartozó szivárgási tényező-víz tartalom értékpár |

5.19. ábra

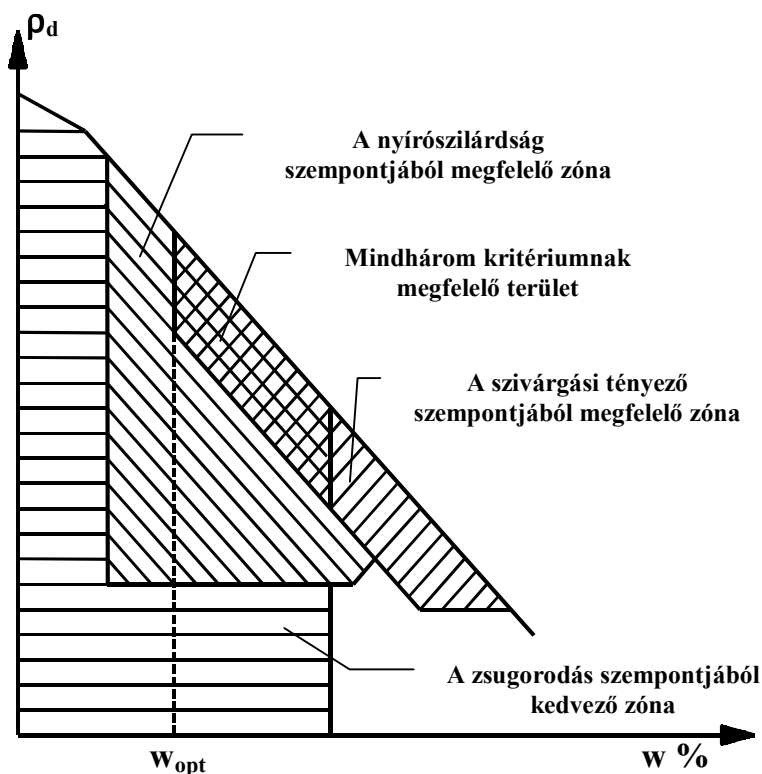
A debreceni kommunális hulladék-lerakó aljzatszigetelésének helyszíni próbatömörítési vizsgálata



5.20. ábra

21 nappal, illetve közvetlenül a tömörítés után mért szivárgási tényező-hányados, a víztartalom és a telítettség kapcsolata (MITCHELL et al., 1965.)

Az előzőekben bemutatott vizsgálatok rámutattak arra, hogy a várható szivárgási tényező értéke jelentősen függ a tömörség mellett a *beépítési víztartalomtól* is. Az aljzatszigetelő agyag beépítési jellemzői meghatározásánál figyelembe kell venni, hogy a vízzárósági kritérium teljesülése mellett a rétegnek megfelelő nyírószilárdsággal is rendelkeznie kell, valamint kívánatos, hogy a víztartalom csökkenés hatására bekövetkező zsugorodás lehetősége is a minimális legyen. Ezen kritériumok együttes teljesülésének a biztosításához a beépítési jellemzőket az **5.21. ábra** szerint határozhatjuk meg.



**5.21. ábra**

A szivárgási tényező, a nyírószilárdság és a zsugorodás szempontjából is megfelelő beépítési jellemzők meghatározása  
(DANIEL, 1993.)

#### **5.4.3. A szivárgási tényező meghatározása**

A geotechnikai gyakorlatban a szivárgási tényező meghatározásának három módszere terjedt el:

- a helyszíni (in situ) vizsgálatok-,
- a laboratóriumi kísérletek- és
- a tapasztalati összefüggések alapján.

A helyszíni vizsgálat a kőzet átteresztőképességétől függően lehet: próbaszivattyúzás, nyeletés, visszatöltődés (elsősorban jó vízvezető kőzetek esetén), illetve infiltrométeres vizsgálat (elsősorban rossz vízvezető, vízzáró kőzetek esetén).

A laboratóriumi vizsgálatokat elsősorban permeabiméterekkel végezzük, állandó vagy változó nyomás mellett. A permeabimétereket alapvetően két nagy csoportba sorolhatjuk: merev falú (hagyományos permeabiméter, átalakított ödométer, permeabiméterként használt tömörítő (Proctor) edény, ill. *flexibilis falú* (permeabiméterként használt triaxiális berendezés).

A tapasztalati összefüggéseknél a laza szemcsés kőzetek esetében a

$$k = A \cdot D_m^n \quad (5.1)$$

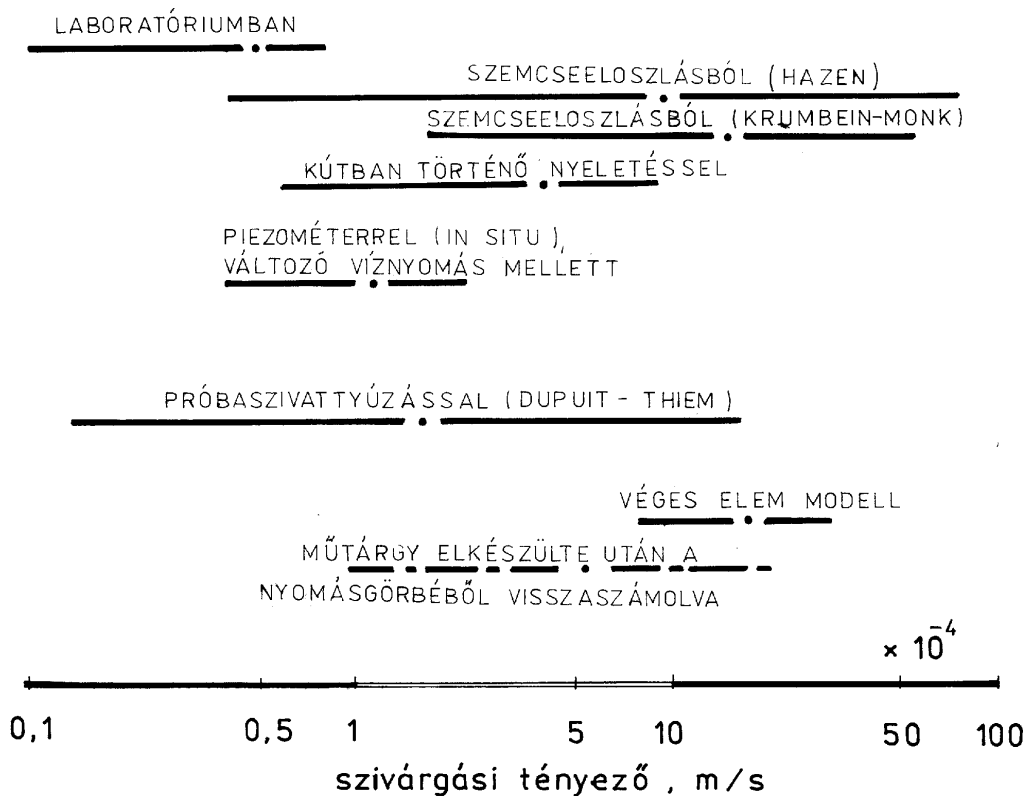
általános formula használt, ahol:

A: az ún. Schlichter szám,

$D_m$ : valamely jellemző szemcseméret(ek) és

n: a szerzőktől függő hatványkitevő.

A fenti összefüggésnek számtalan változata ismert (HAZEN, KOZENY, JÁKY, ZAMARIN), amit JUHÁSZ (1987.) igen részletesen ismertet.



5.22. ábra

A különböző módszerekkel meghatározott szivárgási tényező értékek a Jebba-gát alapozásakor (SOLYMÁR - ILOBACHIE, 1986.)

Kötött anyagú kőzeteknél (iszap, agyag) már sokkal kevesebb tapasztalati eredményre építhetünk, aminek az oka a kisebb megbízhatóság a számos, az eredményt jelentősen befolyásoló tényező miatt. Ebben a tartományban már nem elhanyagolható szerephez jutnak a mikroerők, amelyeket a hagyományos kőzetzfizikai jellemzőkkel (folyási határ, plasztikus index, relatív konzisztencia index, hézagtényező, térfogatsűrűség) figyelembe venni gyakorlatilag lehetetlen. Ezen tapasztalati összefüggések közül a legismertebb, s hazánkban kritika nélküli viszonylag széleskörű alkalmazást kapott a NISHIDA módszer (NISHIDA, 1961.).

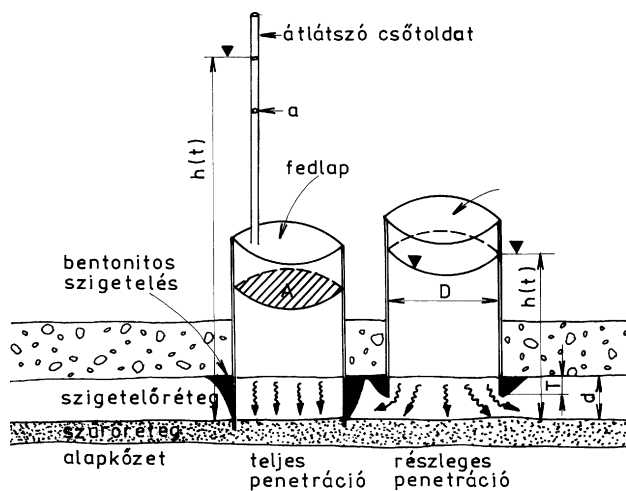
Nyilvánvalóan az egyes módszerekkel, ugyanazon kőzet esetén is nagyságrendekkel eltérő értékeket kaphatunk, mint arra az **5.22. ábra** mutat be példát SOLYMÁR-ILOBACHIE (1986.) munkája nyomán, a Niger folyón épült Jebba-gát alapozásakor szerzett tapasztalatok alapján.

A továbbiakban a tapasztalati összefüggésekkel nem foglalkozunk, *elsősorban a laboratóriumi és az infiltrométeres vizsgálatokat* nézzük meg, mivel a hulladékelhelyezésnél a megkívánt pontosságot leginkább ezekkel a módszerekkel érhetjük el.

#### **5.4.3.1. A szivárgási tényező meghatározása infiltrométeres helyszíni vizsgálatokkal**

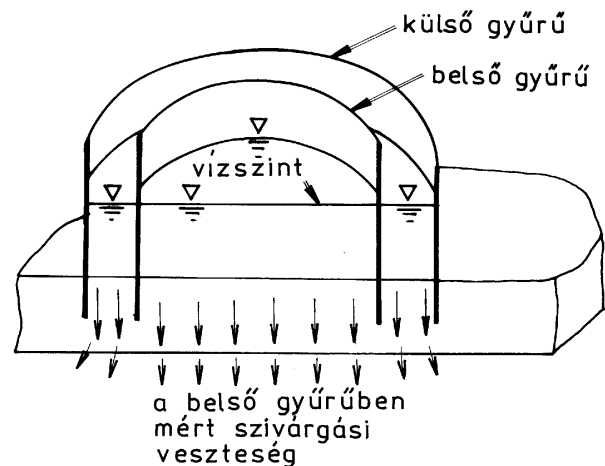
Kis átteresztőképességű, vízzáró kőzetek szivárgási tényezőjének felszínen, vagy felszín közelben történő meghatározására leginkább az *infiltrométerek* alkalmasak, amelyekkel elsősorban a *függőleges szivárgási tényezőt* lehet meghatározni. Kialakításuk lehet:

- szimpla (**5.23. ábra**) és
- kettős falú (**5.24. ábra**)



**5.23. ábra**

A szigetelőpaplan szivárgási tényezőjének meghatározása infiltrométerrel



**5.24. ábra**

Kettős falú infiltrométer

A *szimpla falú* (cső)infiltrométerek beépítése egyszerűbb, azonban a mérés során nagyobb szigetelőréteg vastagság esetén a tisztán függőleges szivárgás nem biztosítható. További hibaforrás a csőfal menti, vagy a csövet megkerülő szivárgás, ami ellen egy bentonit-talaj keverékkel történő beagyazással tudunk védekezni.



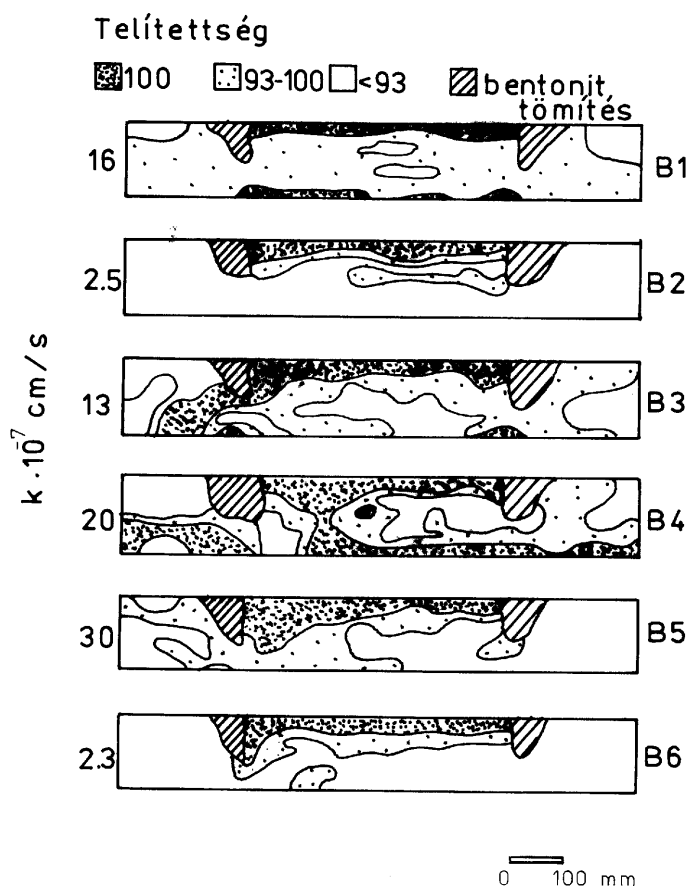
Problémaként jelenik meg, hogy ha kicsi a beszivárgás, akkor a párolgás nagyságrendileg összevethetővé válik a beszivárgással.

Szimpla falú infiltrométernél, amennyiben a folyamat már kvázi-permanenssé vált - a beszivárgás mélysége már olyan nagy, hogy a kapilláris szívóhatás elhanyagolható részét adja az esésnek - a szivárgási tényező a következő összefüggésből határozható meg:

$$Q = k_v \cdot I \cdot \frac{A}{F} \quad (5.2.)$$

- Q : a beszivárgó vízhozam,  
 I : az átlagos hidraulikus gradiens, azaz h/d az 5.23. ábrán,  
 A : az infiltrométer keresztmetszete,  
 F : a  $D/d$ ;  $T/d$ ;  $k_v/k_h$  hányadosoktól függő alaki tényező.

DAY-DANIEL (1985.a.) a módszer számos korlátját említi. Ezek: túlságosan hosszú kísérleti időtartam (esetenként több hét) kell a permanens állapot eléréséhez, a teljes szaturációt szinte lehetetlen elérni (l. 5.25. ábrán STEWART-NOLAN (1987) mérési eredményeit); de a legfőbb hátrány, hogy a  $10^{-7}$  cm/s értéknél kisebb szivárgási tényezőjű anyagoknál a mérés igen körülményessé válik.



5.25. ábra

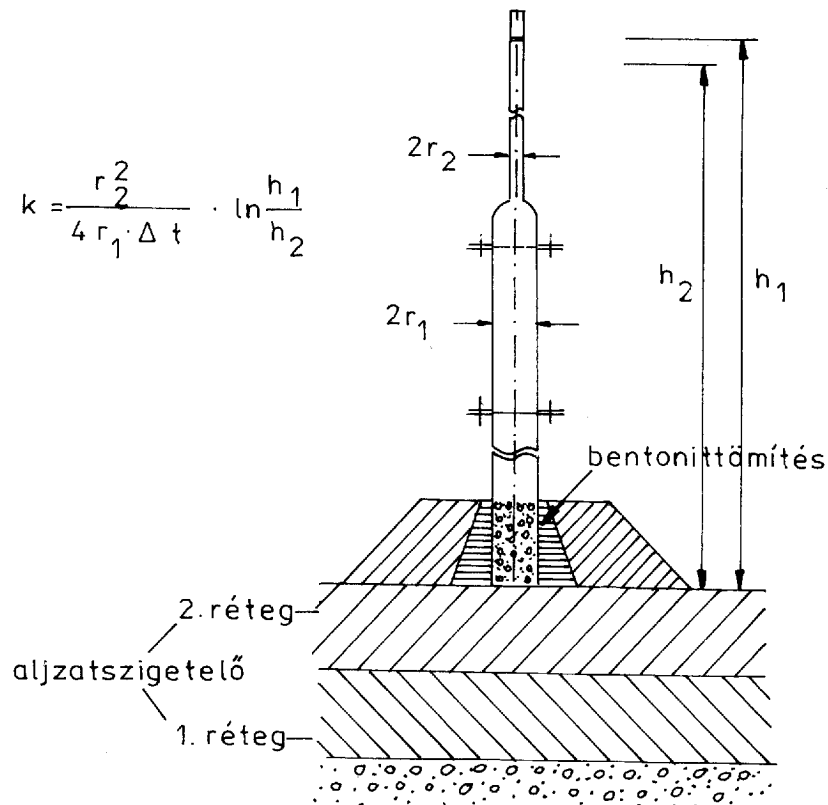
A talajtelítettség eloszlása hat különböző szigetelőréteg esetén infiltrométeres vizsgálatnál (STEWART - NOLAN, 1987.)

Valamelyest javít a helyzeten, ha rossz átteresztőképességű talajoknál az **5.23. ábrán** látható, módosított infiltrométert használjuk, ahol a kisátmérőjű csővel a beszivárgó vízmennyiség mérést jelentősen pontosíthatjuk. Ebben az esetben a szivárgási tényezőt a víznyomás változásának a függvényében a

$$k = \frac{a}{A} \frac{d}{t_2 - t_1} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (5.3.)$$

összefüggés alapján határozhatjuk meg, ahol

- a: a kisátmérőjű cső keresztmetszete,
- A: az infiltrométer keresztmetszete,
- d: a szigetelőréteg vastagsága,
- $h_1$ : a nyomómagasság  $t_1$  időpontban és
- $h_2$ : a nyomómagasság  $t_2$  időpontban.



- Ajánlott méretek
- $2r_1 = 100 - 600 \text{ mm}$
  - $2r_2 = 10 - 100 \text{ mm}$
  - $r_1/r_2 = 5 - 10$
  - $h_1 = 1,5 - 2,5 \text{ m}$

**5.26. ábra**

Hulladéklerakók aljazatszigetelése szivárgási tényezőjének meghatározása a helyszínen csőinfiltróméterrel (BRANDL, 1989.)

A hulladéklerakók helyszínén az altalaj, illetve a lerakók aljzatszigetelő rétegei szivárgási tényezőjének meghatározására és utólagos ellenőrzésére mind Németországban, mind Ausztriában az **5.26. ábra** szerinti ún. *csőinfiltrométert* ajánlják és használják (BRANDL, 1989., HORN, 1989.). Célszerű az ábra szerinti  $r_1/r_2$  csősugár arányt minél nagyobbra választani, mert egyébként a kísérlet időtartama igen hosszú lesz. A szivárgási tényezőt az (5.4.) összefüggés alapján számíthatjuk.

$$k = \frac{r_2^2}{4r_1 \cdot \Delta t} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (5.4.)$$

Az 5.26. ábra jelölésein túl a  $\Delta t$  az az időtartam, amely alatt a víznyomás  $h_1$  értékről  $h_2$ -re csökken. Az 5.4. összefüggés arra az ideális esetre vonatkozik, amikor a vízkilépési felület egy félgömb, és a vízáramlás a telített zónában és végtelen féltérben történik. A valóság ezzel szemben a következő:

- az infiltrométer alja a talajvíztükör felett van, a szivárgás telítetlen zónában megy végbe,
- a vízkilépési felület az infiltrométer alján általában nem gömbszerű,
- általában egy  $d$  vastagságú réteget vizsgálunk, s így az áramlási tér nem egy végtelen nagy féltér.

SCHNEIDER (1988.) a fentiek figyelembevételét az 5.4. összefüggés módosításával javasolja figyelembe venni, az alábbiak szerint:

$$k = \frac{r_2^2}{4\Delta t} \left( \frac{1}{C_1} - \frac{1}{2d} \right) \ln \frac{h_1 + 0,683 \sqrt{h_1 \cdot r_2}}{h_2 + 0,683 \sqrt{h_2 \cdot r_2}} \quad (5.5.)$$

ahol:

$$C_1 = (1 \div 0,22)r_1$$

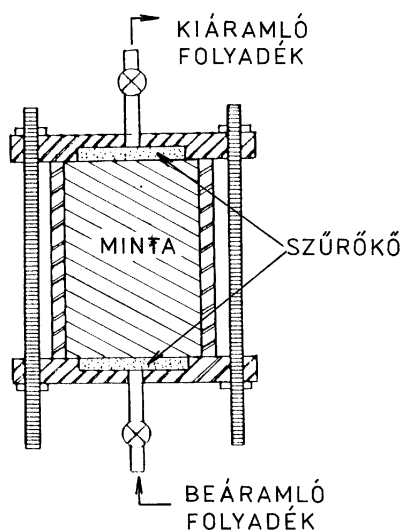
$d$  : a vizsgált szigetelőréteg vastagsága

Az 5.5. kifejezés figyelembe vételével egy  $2r_2=10$  mm;  $2r_1=100$  mm átmérőjű csőinfiltrométernél, ha  $h_1=200$  cm, akkor a mérőcsőben már értékelhetőnek tekinthető 5 cm-es vízszint csökkenéshez szükséges idő  $2,6 \div 14,5$  óra, abban az esetben, ha a szigetelőréteg vízzárósága a kívánalmaknak megfelel, azaz  $k < 10^{-9}$  m/s.

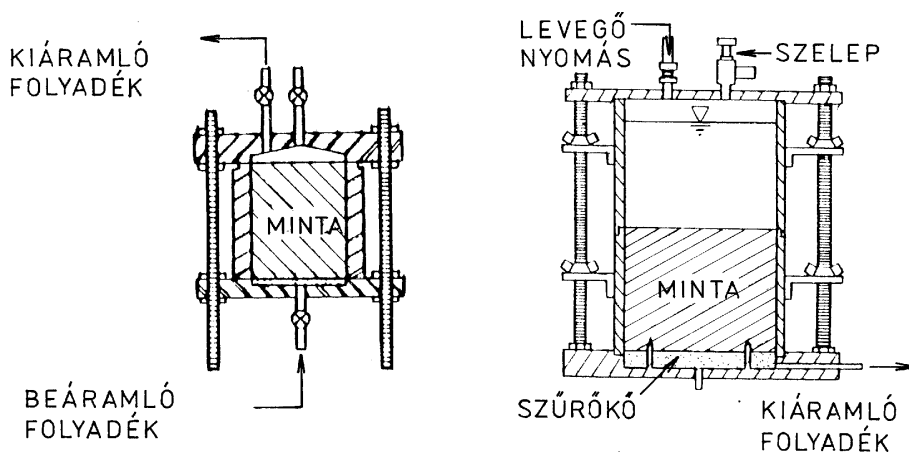
#### 5.4.3.2. *A szivárgási tényező meghatározása laboratóriumi kísérletek alapján*

A kötött, kis áteresztőképességű (vízzáró) talajok szivárgási tényezője meghatározásának *leggyakrabban* alkalmazott módja a *laboratóriumi kísérlet*. Mellette szól az "in situ" vizsgálatokkal szembeni viszonylagos olcsósága, s ennek megfelelően a nagyobb minta darabszám.

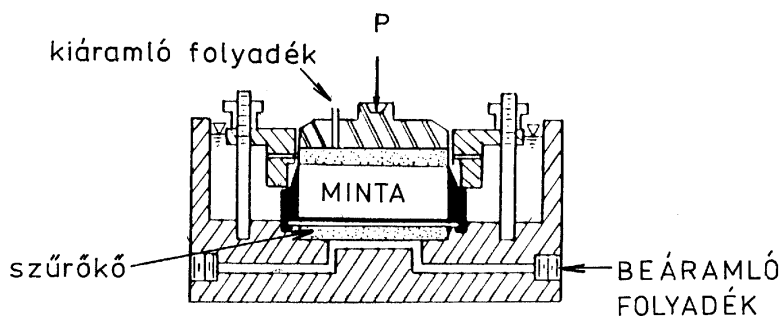
A nemzetközi gyakorlatban a szigetelőanyagként használt kőzetek áteresztőképességének vizsgálatára mind a *merev falú*, mind a *flexibilis falú permeabimétereket* egyaránt használják. (DANIEL et al., 1985.b.). Az alkalmazott típusokat az **5.27-5.30. ábrák** tüntetik fel.



**5.27. ábra**  
Egyszerű merev falú permeabiméter  
(DANIEL et al., 1985.)



**5.28. ábra**  
Permeabiméterként használt tömörítő henger  
(DANIEL et al., 1985.)



**5.29. ábra**  
Permeabiméterként használt ödométer  
(DANIEL et al., 1985.)

A merev falú permeabimétereknek további három fő típusát különböztetjük meg:

- egyszerű merev falú (5.27. ábra);
- átalakított tömörítő henger (5.28. ábra);
- átalakított ödométer (5.29. ábra).

Az egyszerű merev falú permeabiméter lényegében egy hengerből és két (alsó-felső) szűrőközből áll. Használata leginkább akkor előnyös, ha eleve a mintavevő hengerben végezhető a kísérlet. Szokás utólag, méretre vágással a hengerbe helyezni a mintát, ekkor azonban nagyon nehéz megakadályozni a minta és a fal közötti áramlást, ami egyben e készüléktípus legfőbb hátránya.

A permeabiméterként használt tömörítő hengerek elsősorban mesterséges minták vizsgálatára alkalmasak. Kétségtelen előnyük, hogy a tömörítési kísérletek után nem kell a mintát megzavarni, s viszonylagos nagy mérete következtében pedig az oldalfal-szivárgás hatása relatíve kisebb lesz.

A permeabiméterként használt ödométerek esetében kedvezőbb, ha a mintát eleve az ödométer mintatartó gyűrűjével vesszük, s nem utólagosan faragjuk bele. Az előző két készülékkel szemben a módszernek számos előnye van:

- egyszerű kísérleti technika;
- a minta zavartalanságának biztosíthatósága;
- a normálerő változtatásával mérni tudjuk a szivárgási tényező és a hézagképző kapcsolatát, vagyis a kísérletet együtt tudjuk végezni a kompressziós vizsgálattal;
- a normálerő növelésével csökkenthető az oldalfal-menti szivárgás.

Hátrányként említhetjük a merev falú permeabiméterek közös hibáján (oldalfalhatás) túl a kis mintamagasságot, mivel a nagyobb minták értelemszerűen nagyobb esélyt adnak az "in situ" kondíciók jobb reprodukálására.

Előnyként említhető továbbá, hogy a kompressziós vizsgálatból pl. az egydimenziós konszolidációs elmélet figyelembevételével minden külön kiegészítő vizsgálat nélkül is (pl. változó víznyomás alkalmazása) meghatározható a szivárgási tényező ( $k$ ):

$$k = \frac{c_v \cdot a_v \cdot \rho_v \cdot g}{1 + e} \quad (5.6.)$$

ahol:

$a_v$ : a térfogati kompressziós együttható,

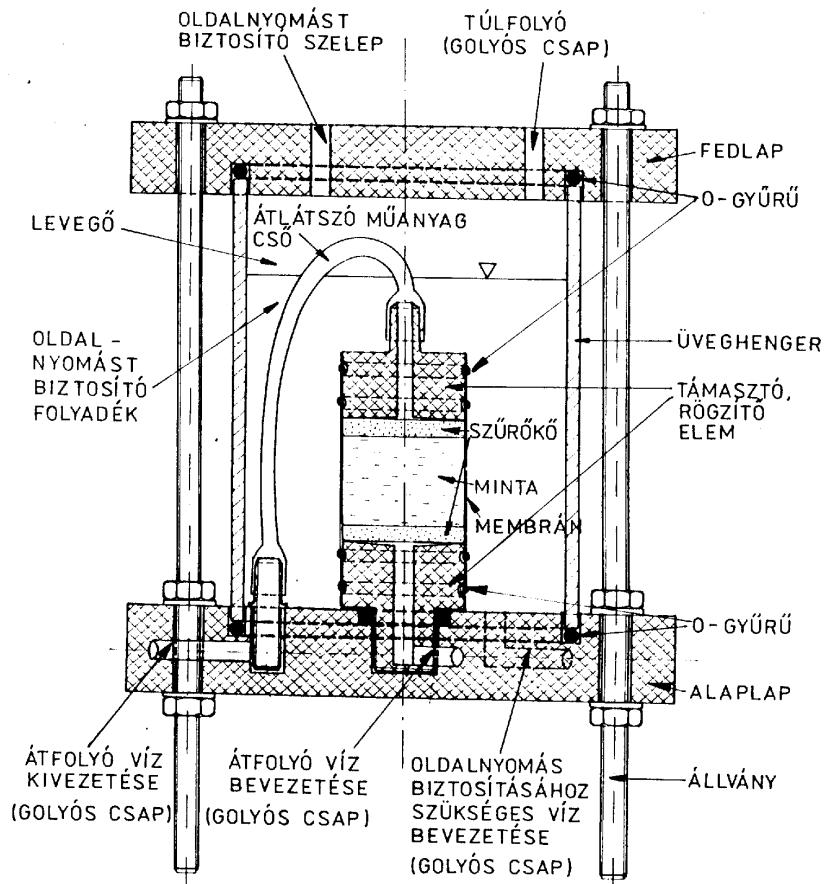
$c_v$ : a konszolidációs együttható,

$\rho_v$ : a víz sűrűsége,

$g$ : a gravitációs állandó és

$e$ : a hézagképző.

A szivárgási tényező laboratóriumi körülmények között történő meghatározásának másik leginkább elterjedt módja a *flexibilis falú permeabiméterek* alkalmazása (5.30. ábra). A kísérleti technikával részletesen foglalkoznak tanulmányaikban: VARGA (1983.), DANIEL (1985.), BOYNTON (1985.), EVANS (1986.) és munkatársaik, valamint SZABÓ (1991.).



5.30. ábra

A Miskolci Egyetem Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszékén kifejlesztett flexibilis falú permeabiméter

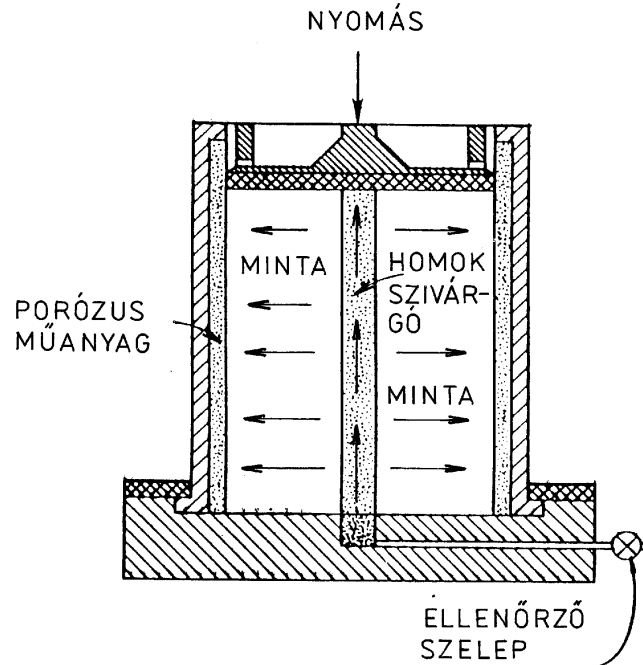
Ennél a kísérleti módszernél vagy közvetlenül a nyírószilárdsági vizsgálatokhoz használt *triaxiális cellát*, vagy annak *módosított változatát* használják, amelynél a *mintát* a cellában a triaxiális vizsgálatoknál is használt *gumimembrán veszi körül*, s egy folyadékkal (többnyire vízzel) biztosított cellanyomással a *gumimembránt nekinyomják a mintának*.

A *flexibilis falú* permeabiméterek alkalmazásának számos *előnye* van az előzőekben ismertetett *merev falú* készülékekkel szemben. Ezek:

- megfelelő oldalfalnyomás mellett *megakadályozható a minta és a készülék fala* jelen esetben a gumimembrán - közötti szivárgás;
- megvalósítható az a követelmény, hogy a permeabilitás vizsgálatokat a *tényleges értékeknek megfelelő feszültségviszonyok mellett* végezzük;
- az ún. "back pressure" technikával *biztosítható a minta telítettsége*, ami a kísérletek alapvető követelménye.

Az eddigiekben ismertetett módszerek mindegyike a *függőleges szivárgási tényező értékének* a meghatározására alkalmas. Üledékes kőzeteknél általános tapasztalat - és különösen igaz ez az agyagokra -, hogy a vízszintes irányban mért szivárgási tényező ( $k_h$ ) értéke nagyobb mint a függőleges irányban mért ( $k_v$ ), amit *anizotrópiának* nevezünk. A szennyezőanyagok terjedésének modellezésekor egyaránt szükségünk van  $k_h$  és  $k_v$  értékére. A horizontális szivárgási tényező

értékének meghatározására leginkább a *módosított ödométerek alkalmasak*. A mérés elvét az **5.31. ábra** tünteti fel OLSON-DANIEL (1981.) nyomán, amikor is a vízszintes irányú szivárgást egy, a minta közepébe helyezett homok-drén és egy külső porózus, műanyag vagy kerámia határoló henger biztosítja.



**5.31. ábra**

A horizontális szivárgási tényező laboratóriumi mérésének az elve (OLSON - DANIEL, 1981.)

A horizontális szivárgási tényező értéke *állandó víznyomás* esetén:

$$k_h = \frac{Q}{2\pi L \Delta h \Delta t} \ln \frac{r_k}{r_b} \quad (5.7.)$$

*változó víznyomás* esetén pedig:

$$k_h = \frac{a}{2\pi L \Delta t} \ln \frac{h_1}{h_2} \ln \frac{r_k}{r_b} \quad (5.8.)$$

összefüggésből határozható meg ahol:

Q: a  $\Delta t$  idő alatt átáramlott vízmennyiség,

$\Delta t$ : a kísérlet időtartama,

$\Delta h$ : az alkalmazott állandó víznyomás,

$h_1$ : víznyomás a kísérlet elején,

$h_2$ : víznyomás a kísérlet végén,

$r_k$ : a külső drén sugara,

$r_b$ : a belső drén sugara,

a: a változó víznyomást biztosító cső keresztmetszete és

L: a minta magassága.

**5.4.3.3. A szivárgási tényező meghatározásának hibaforrásai**

Ebben a fejezetben röviden áttekintjük azokat a hibaforrásokat, amelyek a vizsgálati módtól (permeabiméter-típustól) függetlenül befolyásolhatják a mérési eredményeket. Az előzőekben ismertetett permeabiméter-típusok összehasonlítását külön fejezetben tárgyaljuk. *A fő hibaforrásokat az 5.10. táblázat foglalja össze:*

**5.10. táblázat**

| <i>A szivárgási tényező meghatározásának legjellemzőbb hibaforrásai</i>              |                                       |                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Hibaforrás</b>                                                                    | <b>A mért "k" kicsi vagy túl nagy</b> | <b><math>k_{\text{mért}}/k_{\text{valós}}</math><br/>(publikált adatok alapján)</b> |
| 1. A mintabekészítéskor keletkezett hézag                                            | nagy                                  | > 1                                                                                 |
| 2. Mintafaragáskor az agyagfrakció szétkenődik                                       | kicsi                                 | < 1                                                                                 |
| 3. Desztillált víz használata a kísérlet során                                       | kicsi                                 | 0,005 - 0,1                                                                         |
| 4. Mintában lévő levegő                                                              | kicsi                                 | 0,1 - 0,5                                                                           |
| 5. Mikroorganizmusok elszaporodása                                                   | kicsi                                 | 0,01 - 0,1                                                                          |
| 6. Különösen nagy hidraulikus gradiens alkalmazása                                   | kicsi/nagy                            | < 1 ÷ 5                                                                             |
| 7. Mintaméret (túl kicsi minta)                                                      | kicsi                                 | 0,1 - 1,0                                                                           |
| 8. A hőmérséklet hatása                                                              | változó                               | 0,5 - 1,4                                                                           |
| 9. Térfogatváltozás (terhelés hatására)                                              | nagy                                  | 1 - 20                                                                              |
| 10. A laboratóriumi vizsgálat előnyben részesítése az "in situ" vizsgálattal szemben | általában kisebb                      | 0,001 - 3,0                                                                         |

Az 1. és 2. pontbeli hibák elsősorban a minta-előkészítéskor lépnek fel, amikor a zavartalan mintát utólag a permeabiméter méretéhez igazítjuk. Gondos mintabekészítéssel, megfelelő eszközökkel a hibalehetőség csökkenthető.

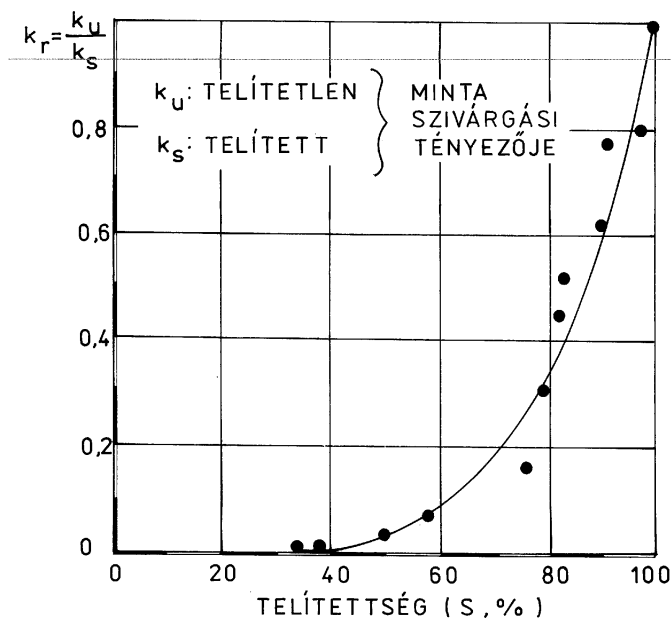
Legszerencsésebb, ha a magminta minden utólagos megmunkálás nélkül beépíthető, bár ekkor is megmaradnak a magmintavételkor fellépő hibalehetőségek, amelyek elsősorban a minta és mintavevő fala mentén lépnek fel.

Sajnos a legjobb magmintavételkor is nehezen biztosítható az eredeti településnek megfelelő tömörséggel rendelkező minta, s közismert, hogy a minta tömörsége nagymértékben befolyásolja a szivárgási tényező értékét.

A vizsgálatokat többnyire *desztillált vízzel* vagy *csapvízzel* végezzük. A valóságban a szigetelőréteg a hulladékon átszivárgó vagy a hulladékban keletkező *csurgalékvízzel* van kapcsolatban. *A szigetelőanyag és szennyezőanyag kompatibilitási kérdéseivel* a következő fejezet foglalkozik.

*A mintában lévő levegő jelentősen csökkentheti* a szivárgási tényező értékét, mivel a bezáródott levegőbuborékok csökkentik a folyadék áramlási keresztmetszetét. A bentmaradt levegő mennyiségét a minta *telítettségével* tudjuk jellemezni. Az **5.32. ábra** a minta telítettsége és a mért szivárgási tényező értéke közötti összefüggést mutatja be (McANENY et al., 1985.). Mint már említettük, a minta telítését legcélszerűbb az ún. "back pressure" mellett végezni, ez a lehetőség azonban csak a flexibilis falú permeabimétereknél van meg.

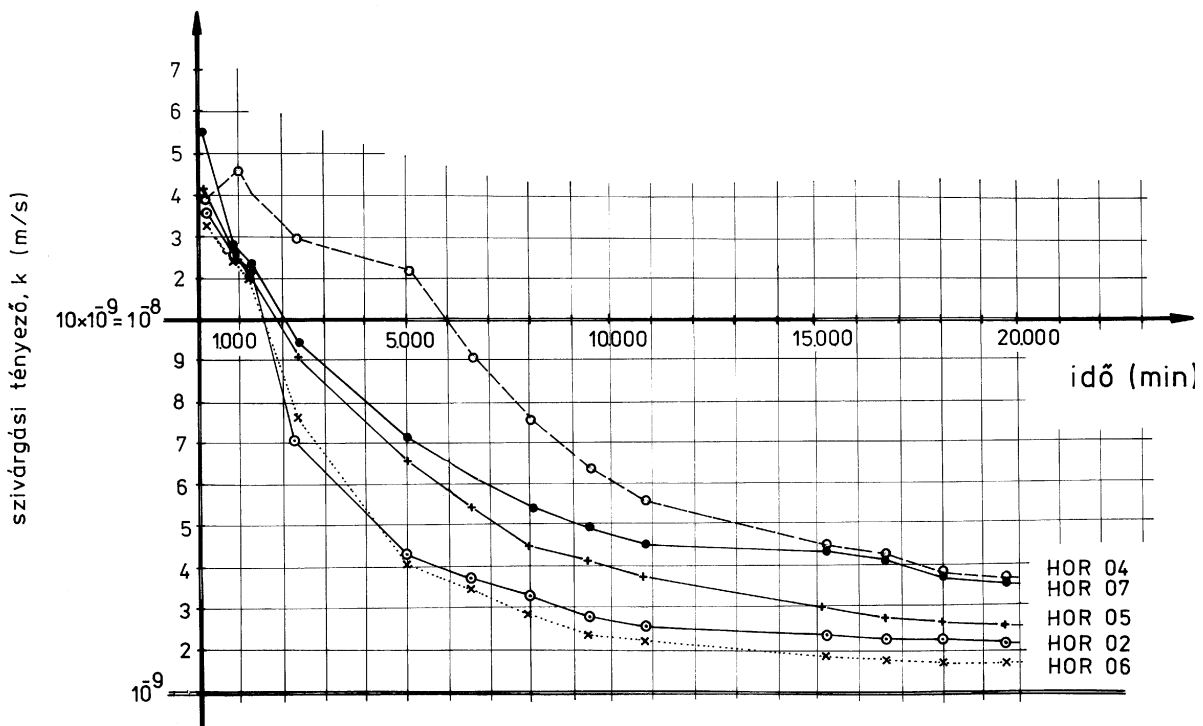




5.32. ábra

A telítettség hatása a szivárgási tényező értékére  
(McANENY - HATHEWAY, 1985.)

Az 5.33. ábra a mért szivárgási tényező értékének a minta telítődése során bekövetkező csökkenését mutatja be, a már említett hortobágyi téglagyári mintáknál (v.ö. 5.18. ábrával).

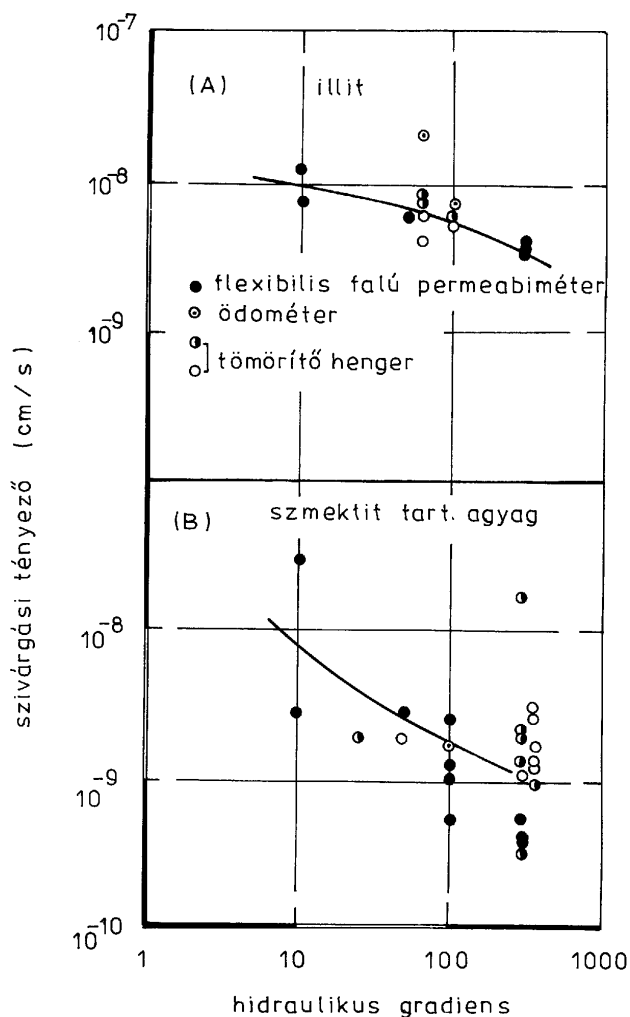


5.33. ábra

A mért szivárgási tényező értékének csökkenése a minta telítődésével

A mikroorganizmusok elszaporodásával elsősorban a csurgalékvizrel végzett kísérleteknél kell számolni, s a folyamatnak kedvez a kísérletek viszonylagosan hosszú időtartama. Az áramlási csatornák eltömődése jelentősen csökkentheti a  $k$  értékét. Kísérleteket végeztek a leghatásosabb sterilizáló szerek megtalálására, s úgy találták, hogy a fenol (1000 ppm) és a formaldehid (2000 ppm) a legalkalmasabb a mikroorganizmusok elterjedésének a meggátolására.

Az a törekvés, hogy a kísérleti idő minél jobban lerövidüljön, eredményezi a túlságosan nagy hidraulikus gradiensek alkalmazását. Mindaddig, amíg a Darcy-törvény érvényes, a hidraulikus gradiens nagysága nem befolyásolja az eredményeket. Általános recept itt sem adható, mivel a lamináris szivárgás kialakulását több tényező is befolyásolja, többek között a szemcseméret, a szemcsealak, az ásványos összetétel. Az 5.34. ábra FOREMAN-DANIEL (1986.) vizsgálatai alapján 1-500 közötti hidraulikus gradiensek mellett kapott szivárgási tényező értékeket mutatja be. Általános tapasztalat, hogy kb.  $I=30$  értékig a gradiens növelése még megengedhető, bár kétségtelen, hogy legjobb mindig olyan gradienssel dolgozni, amilyen a valóságban várható, és ezek az értékek a fent említetteknel általában kisebbek. Hátránya a valós hidraulikus gradiensek mellett végzett kísérleteknek, hogy nagyon megnő a kísérlet időigénye.

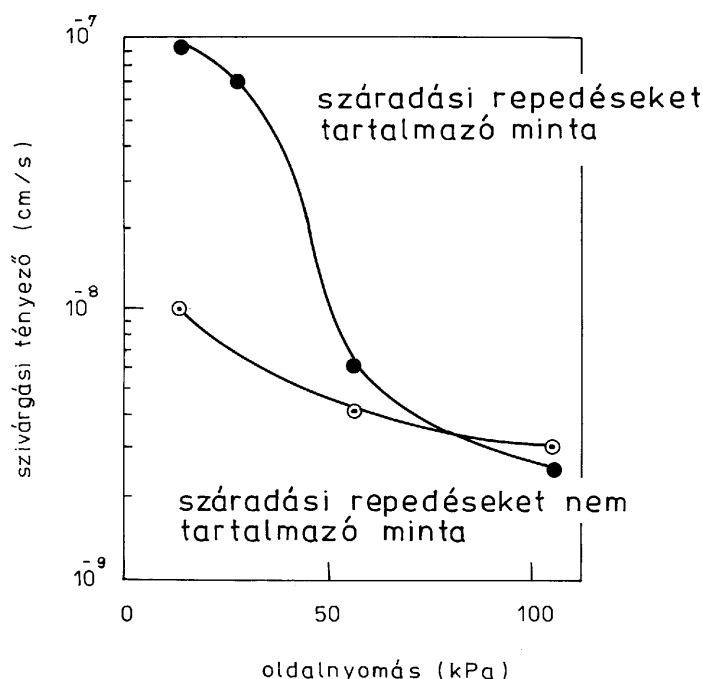


5.34. ábra

A hidraulikus gradiens változásának hatása a mért szivárgási tényezőre (FOREMAN - DANIEL, 1986.)

A minta mérete (magasság, átmérő) úgyszintén hatással van a mért értékekre, csakúgy mint a kísérlet közbeni hőmérséklet. Ezen hatások nem túl jelentősek, részletes tárgyalásuk megtalálható KORFIATIS (1987.) és BOYNTON-DANIEL (1985.) munkáiban.

Függ a mért szivárgási tényező értéke a mintára *kísérlet közben átadott terheléstől*, és a minta felületén ható feszültségtől is. BOYNTON-DANIEL (1985.) vizsgálataiból mutat be egyet az **5.35. ábra**, ami a flexibilis falú permeabiméterben vizsgált minta szivárgási tényezőjének változását mutatja be az oldalnyomás függvényében. A szerzők kísérleteik során vizsgálták a száradási repedések (3 napi száradás után) hatását is. Mint látható az ábrán, a repedéseket tartalmazó mintáknál az oldalnyomás növekedtével a repedések egyre jobban záródnak.



**5.35. ábra**

A szivárgási tényező változása az oldalnyomás függvényében flexibilis falú permeabiméter esetén  
(BOYNTON - DANIEL, 1985.)

Ugyancsak befolyásolja a mért  $k$ -tényező értékét a vett *minta orientációja*. Célszerű, a permeabiméterben is a helyszíni viszonyoknak megfelelő orientációban vizsgálni a talajmintát, mivel az anizotrópia jelentős eltéréseket eredményezhet.

#### 5.4.3.4. A szivárgási tényező meghatározási módjainak összehasonlítása

Ezen fejezetben csak a *laboratóriumi és helyszíni vizsgálati módok összehasonlításával* foglalkozunk. Az **5.11. táblázat** az infiltrométeres vizsgálatok eredményeit mutatja be (DAY-DANIEL, 1985.b) különböző méretű szimpla - és kettős falú infiltrométereket hasonlítva össze, figyelembe véve a beágyazási hányadost is.



5.11. táblázat

| <i>Infiltróméteres vizsgálatok összehasonlítása (DAY-DANIEL, 1985.b.)</i> |                     |                    |                      |                                    |                          |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Talaj                                                                     | Infiltróméter típus | Henger átmérő (cm) | Beágyazási hányados* | $k_{inf}$ ( $\times 10^{-6}$ cm/s) | $k_{tényl}^{**}/k_{inf}$ |
| Iszap<br>( $w_L = 30\%$<br>$I_p = 11\%$ )                                 | szimpla             | 56                 | 0,96                 | 72                                 | 0,1                      |
|                                                                           | szimpla             | 56                 | 0,48                 | 15                                 | 0,6                      |
|                                                                           | szimpla             | 112                | 0,40                 | 1,2                                | 7,5                      |
|                                                                           | szimpla             | 112                | 0,59                 | 1,0                                | 9,0                      |
|                                                                           | kettős falú         | 30/50              | 0,33                 | 1,8                                | 5,0                      |
| Agyag<br>( $w_L = 72\%$<br>$I_p = 45\%$ )                                 | szimpla             | 56                 | 0,87                 | 1,0                                | 4,0                      |
|                                                                           | szimpla             | 56                 | 0,61                 | 35,0                               | 0,1                      |
|                                                                           | szimpla             | 56                 | 0,79                 | 3,4                                | 1,2                      |
|                                                                           | szimpla             | 112                | 0,53                 | 1,6                                | 2,5                      |
|                                                                           | kettős falú         | 30/50              | 0,53                 | 2,5                                | 1,6                      |

\* Beágyazási hányados: T/d az 5.23. ábrán

\*\*  $k_{tényl}$ : a 0,8 ha alapterületű beszivárogtató medencékkel meghatározott szivárgási tényező (szigetelőréteg vastagság: 30 cm, hidraulikus gradiens: 4,0).

Mint látható a k-tényező értéke már az infiltróméteres vizsgálatok esetében is lényegesen kisebb volt a nagymodell kísérlettel (medencés beszivárogtatás) kapott értéknél.

Az **5.12. táblázat** az infiltróméteres és laboratóriumi mérések eredményeit hasonlítja össze 4 különböző helyen végezve a helyszíni vizsgálatokat (DANIEL, 1984.). Az infiltróméter dupla falú volt.

5.12. táblázat

| <i>Infiltróméteres és laboratóriumi mérések összehasonlítása (DANIEL, 1984.)</i> |                                        |                                       |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| A kísérlet helye                                                                 | $k_{lab}$ (cm/s)                       | $k_{inf}$ (cm/s)                      | $k_{inf}/k_{lab}$ |
| Közép-Texas<br>$I_p = 19-39\%$                                                   | $5 \times 10^{-10} - 8 \times 10^{-7}$ | $2 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$ | 25 - 100 000      |
| É-Texas                                                                          | $2 \times 10^{-9} - 2 \times 10^{-7}$  | $2 \times 10^{-6} - 4 \times 10^{-6}$ | 10 - 2000         |
| D-Texas<br>$w_L = 41-86\%$<br>$I_p = 23-55\%$                                    | $1 \times 10^{-7} - 4 \times 10^{-7}$  | $1 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-5}$ | 25 - 200          |
| É-Mexico<br>$w_L = 30-45\%$<br>$I_p = 14-24\%$                                   | $1 \times 10^{-8} - 2 \times 10^{-7}$  | $1 \times 10^{-6}$                    | 5 - 100           |

A laboratóriumi vizsgálatokat merev falú permeabiméterrel végezték; 3,8 mm átmérőjű hengerben, tömörített mintával. Telítés után  $I=50$  hidraulikus gradiens mellett történt a kísérlet.

Az **5.13. táblázat** DAY-DANIEL (1985.b) helyszíni és laboratóriumi összehasonlító vizsgálatainak összefoglalását tartalmazza. A különböző módszerekkel kapott szivárgási tényező értékeket a *helyszíni medencés beszivárogtatással kapott eredményekhez* viszonyítják, ami kétségtelenül a legmegbízhatóbb, de a legköltségesebb megoldás is.

5.13. táblázat

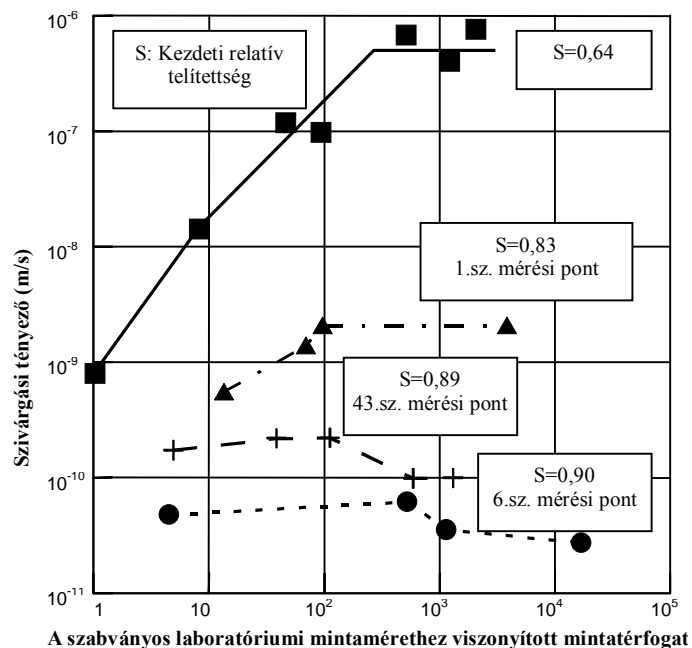
| Különböző módszerekkel kapott szivárgási tényező értékek összehasonlítása (DAY-DANIEL, 1985.b.) |                    |                 |                    |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| A permeabilitás vizsgálat módszere                                                              | Iszap              |                 | Agyag              |                 |
|                                                                                                 | $w_L = 30\%$       | $I_p = 12\%$    | $w_L = 72\%$       | $I_p = 45\%$    |
|                                                                                                 | $k_a$ (cm/s)       | $k_{tényl}/k_a$ | $k$ (cm/s)         | $k_{tényl}/k_a$ |
| Helyszíni medencés beszivárogtatás                                                              | $9 \times 10^{-6}$ | 1,0*            | $4 \times 10^{-6}$ | 1,0*            |
| Laboratóriumi tömörített mintákon                                                               | $1 \times 10^{-8}$ | 900             | $2 \times 10^{-9}$ | 2000            |
| Flex.falú perm. kézzel faragott minta ( $\phi$ 10 cm)                                           | $1 \times 10^{-8}$ | 900             | $3 \times 10^{-9}$ | 1300            |
| Flex.falú perm., kiszúróhengerrel ( $\phi$ 7,4 cm) vett minta                                   | $1 \times 10^{-8}$ | 900             | $3 \times 10^{-9}$ | 1300            |
| Ödométerben (merev falú perm.) kézzel faragott minta, eff. feszültség $\sigma_v = 96$ kPa       | $1 \times 10^{-6}$ | 90              | $4 \times 10^{-8}$ | 100             |
| Infiltrométer                                                                                   | $5 \times 10^{-6}$ | 1,9             | $3 \times 10^{-6}$ | 1,2             |

$k_a$  : az összes mérés átlaga

\* : a  $k_{tényl}$  értéként a helyszíni beszivárogtatás értékét fogadták el

Mint látjuk, az infiltrométerek nagyszámú mérés után már jól megközelítették a nagymodell kísérletek eredményeit, azonban a laboratóriumi vizsgálatokkal kapott eredmények nagyságrendekkel kisebb értéket is adhatnak.

TRAUTWEIN és BOUTWELL (1994.) vizsgálatai azt mutatták, hogy a valós eredményeket reprezentáló mintaméret nemcsak a mérési módszertől, hanem a *tömörítési módtól és a tömörítés minőségétől is függ*. Ha a talaj gyengén tömörített a reprezentatív mintaméret igen nagy is lehet, ellentétben a megfelelően tömörített talajjal, amelynél a reprezentatív mintaméret közel azonos a szabványos laboratóriumi kísérlet mintaméretével (5.36. ábra).



5.36. ábra

A mintaméret hatása a szivárgási tényező mért értékénél (TRAUTWEIN-BOUTWELL, 1994.)

Az **5.14. táblázatban** a rudabányai veszélyeshulladék - égető lerakója altalajának (Szuhogy), a debreceni kommunális hulladéklerakó - aljzatszigetelője anyagnyerőhelyének, valamint az elkészült lerakó szigetelőrétegének a vizsgálati eredményeit hasonlítottuk össze. Jól látható a táblázatból, hogy ha csak a hagyományos merev falú permeabimétereket használjuk, akkor azt kaptuk volna, hogy:

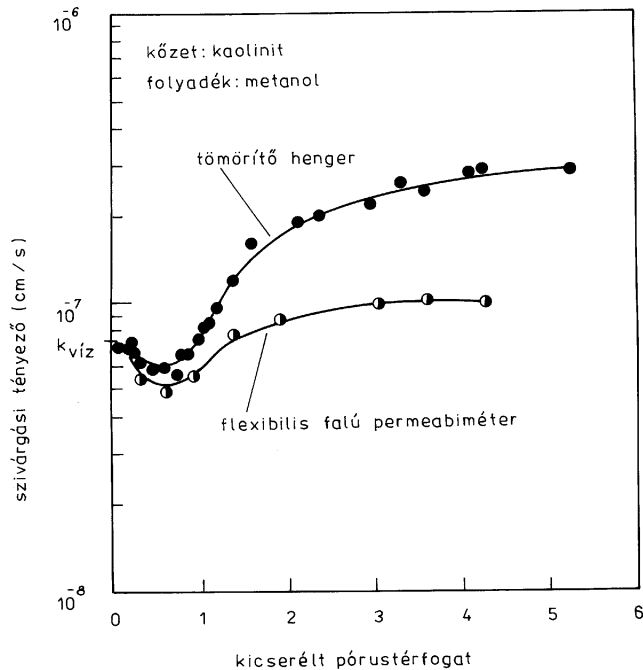
- az anyagnyerőhely anyaga nem alkalmas arra, hogy bépítve a  $k < 10^{-9}$  m/s vízzárósági követelmény teljesüljön (DHOR és DALF jelű minták);
- az elkészült szigetelőréteg vízzárósága nem megfelelő (DHU jelű minták).

5.14. táblázat

| <i>Különböző módszerekkel kapott szivárgási tényező értékek összehasonlítása a debreceni és a szuhogyi lerakó mintáinál</i> |                       |                                        |                                               |                                              |                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
| A minta jele                                                                                                                | w <sub>n</sub><br>(%) | ρ <sub>d</sub><br>(g/cm <sup>3</sup> ) | k <sub>merev</sub><br>(x10 <sup>-9</sup> m/s) | k <sub>flex</sub><br>(x10 <sup>-9</sup> m/s) | k <sub>merev</sub> /k <sub>flex</sub> |
| DHOR 2                                                                                                                      | 17,9                  | 1,74                                   | 6,06                                          | 0,25                                         | 24,4                                  |
| DHOR 4                                                                                                                      | 18,4                  | 1,70                                   | 9,29                                          | 2,16                                         | 4,3                                   |
| DHOR 5                                                                                                                      | 11,5                  | 1,89                                   | 4,02                                          | 0,35                                         | 11,5                                  |
| DHOR 6                                                                                                                      | 14,3                  | 1,89                                   | 6,37                                          | 0,37                                         | 17,0                                  |
| DHOR 8                                                                                                                      | 17,5                  | 1,71                                   | 7,03                                          | 1,40                                         | 5,0                                   |
| DALF 2                                                                                                                      | 20,0                  | 1,52                                   | 4,15                                          | 6,70                                         | 0,62                                  |
| DALF 3                                                                                                                      | 16,0                  | 1,76                                   | 3,88                                          | 0,62                                         | 6,25                                  |
| DALF 4                                                                                                                      | 12,7                  | 1,87                                   | 4,78                                          | 0,18                                         | 25,4                                  |
| DALF 5                                                                                                                      | 19,3                  | 1,66                                   | 4,89                                          | 0,63                                         | 7,8                                   |
| DALF 7                                                                                                                      | 17,2                  | 1,75                                   | 5,88                                          | 0,51                                         | 11,5                                  |
| DALF 10                                                                                                                     | 21,6                  | 1,58                                   | 5,85                                          | 0,23                                         | 25,1                                  |
| DHU 1                                                                                                                       | 16,1                  | 1,74                                   | 0,58                                          | 0,03                                         | 19,3                                  |
| DHU 2                                                                                                                       | 16,0                  | 1,66                                   | 0,087                                         | 0,06                                         | 1,4                                   |
| DHU 3                                                                                                                       | 18,6                  | 1,67                                   | 1,20                                          | 0,12                                         | 10,0                                  |
| DHU 4                                                                                                                       | 12,9                  | 1,55                                   | 9,10                                          | 0,84                                         | 10,8                                  |
| DHU 5                                                                                                                       | 13,3                  | 1,57                                   | 6,20                                          | 1,20                                         | 5,2                                   |
| SZU 1                                                                                                                       | 24,2                  | 1,62                                   | 8,90                                          | 6,60                                         | 1,35                                  |
| SZU 4                                                                                                                       | 15,4                  | 1,74                                   | 24,40                                         | 2,98                                         | 8,18                                  |
| SZU 8                                                                                                                       | 16,2                  | 1,57                                   | 258,0                                         | 3,67                                         | 70,3                                  |
| SZU 10                                                                                                                      | 16,5                  | 1,69                                   | 859,0                                         | 11,10                                        | 77,4                                  |
| SZU 11                                                                                                                      | 16,0                  | 1,85                                   | 1,97                                          | 0,185                                        | 11,3                                  |
| <b>Átlag:</b>                                                                                                               |                       |                                        |                                               |                                              | <b>14,16</b>                          |

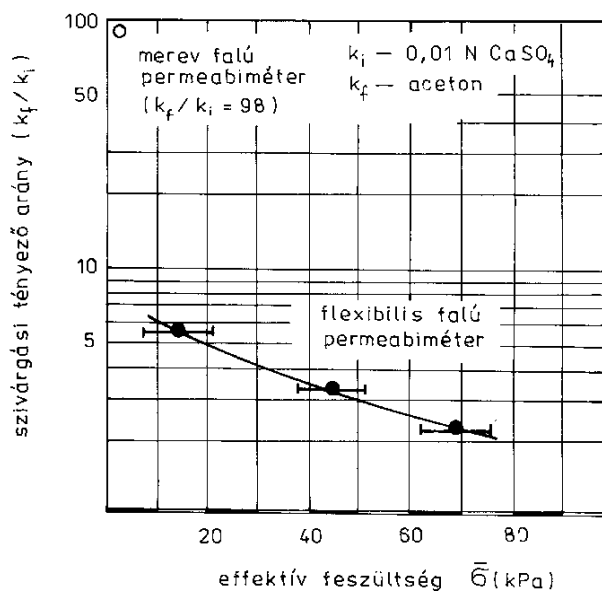
A flexibilis falú permeabiméterek kedvezőbb értéket szolgáltatnak, amit a beépített agyag szigetelőréteg helyszíni infiltróméteres vizsgálata is igazolt (vö. 5.19. ábrával). A merev falú permeabiméterrel kapott k tényező értékek több mint egy nagyságrenddel voltak nagyobbak.

Az 5.37-5.38. ábrák ugyancsak merev és flexibilis falú permeabiméterekkel kapott eredményeket hasonlítanak össze. Mint látjuk, általános tapasztalat, hogy a *flexibilis falú permeabiméterrel* kisebb szivárgási tényező értéket kapunk, mivel itt a *minta és a fal közötti szivárgás megakadályozható*. Az 5.15. táblázat a permeabiméterekre jellemző hibalehetőségeket hasonlítja össze, mintegy kiértékeléseként a korábbi ábrákon és táblázatokban közölt mérési eredményeknek.



5.37. ábra

A szivárgási tényező változása a kicserélt pórustérfogat függvényében metanol esetén (DANIEL - ANDERSON - BOYNTON, 1985.)



5.38. ábra

A vizsgálati mód, az effektív feszültség és a szivárgási tényező kapcsolata (kaolinit) (ACAR - SEALS, 1984.)



5.15. táblázat

| <i>Permeabiméterek jellemző hibalehetőségei</i> |                                                              |                                                                               |                                                                               |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Hibalehetőség                                   | Permeabiméter típus                                          |                                                                               |                                                                               |
|                                                 | Tömörítő henger                                              | Ödométer                                                                      | Flexibilis falú                                                               |
| <b>Oldalfalmenti szivárgás</b>                  | lehetséges                                                   | a vertikális fesz. növelésével csökkenthető                                   | nem lehetséges                                                                |
| <b>Hézagtényező</b>                             | viszonylag nagy, mivel $\sigma_v = 0$                        | viszonylag kicsi, mivel $\sigma_v > 0$                                        | viszonylag kicsi, mivel $\sigma_3 > 0$                                        |
| <b>Telítettség</b>                              | $S < 1$ lehetséges                                           | $S < 1$ lehetséges                                                            | "Back pressure" alkalmazásával $S = 1$ biztosítható                           |
| <b>Hézagok a mintabeépítés során</b>            | nem lehetséges, a minta a tömörítő hengerben marad           | lehetséges, azonban $\sigma_v$ növelésével csökkenthető                       | hatás kiküszöbölhető, mivel $\sigma_3$ hatására a gumimembrán a mintára simul |
| <b>Mintaméret</b>                               | viszonylag nagy, a teljes tömörített minta vizsgálatra kerül | viszonylag kicsi (pl. tömörítésnél csak a középső harmadból kerül ki a minta) | készüléktípustól függ, lehetséges nagyminták vizsgálata is                    |

#### 5.4.4. A nyírószilárdsági és kompresszibilitási jellemzők meghatározása

A nyírószilárdsági jellemzők meghatározására elsősorban az állékonyságvizsgálatoknál van szükségünk, amit a 6.2.5.1. fejezet mutat be. Az állékonyságvizsgálatokon túlmenően az altalaj teherbíróképességének a megítélésénél is ismernünk kell a nyírószilárdsági paramétereket, a kohéziót ( $c$ ), illetve a belső súrlódási szöget ( $\phi$ ). Meghatározásuk történhet:

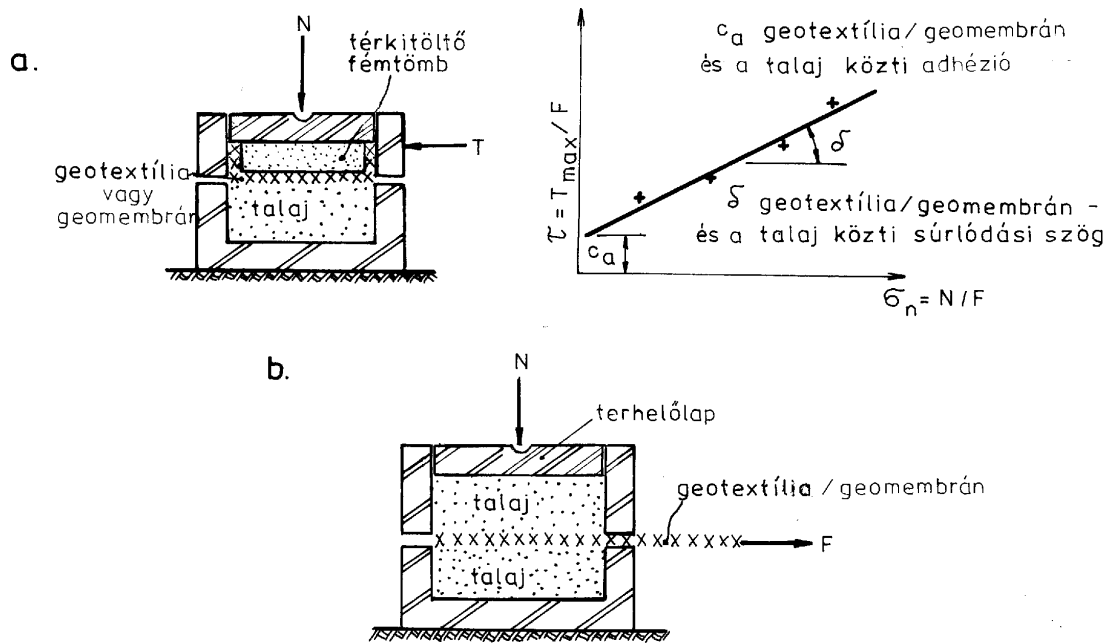
- triaxiális- és
- nyíróvizsgálatokkal.

A nyíróvizsgálat lehet *direkt és egyszerű nyírás*. A kohézió ( $c$ ) és a belső súrlódási szög ( $\phi$ ) meghatározására leginkább a *triaxiális és az egyszerű nyíróvizsgálatok ajánlhatók*. A kísérlet technikája és végrehajtása a szakirodalomban kellő részletességgel megtalálható (KÉZDI, 1971., SZABÓ, 1989.).

A nyíróvizsgálatok speciális alkalmazási területét jelenti hulladéklerakóknál a szigetelőréteggént alkalmazott *geomembrán*, a mechanikai védelmet és szűrő funkciót betöltő *geotextília* közötti, valamint ezen anyagok és az *altalaj közötti súrlódási szög* meghatározása. A vizsgálatokra az állékonysági-, a megcsúszással szembeni biztonság meghatározásánál van szükség. A már forgalomban lévő, gyakrabban alkalmazott anyagok esetében ezek a paraméterek ismertek, a gyártó által többnyire megadott értékek. Speciális helyszíni talajadottságok esetén szükség lehet a pontosabb vizsgálati adatokra, egyébként megelégedhetünk az átlagos értéket jelentő irányszámokkal is.

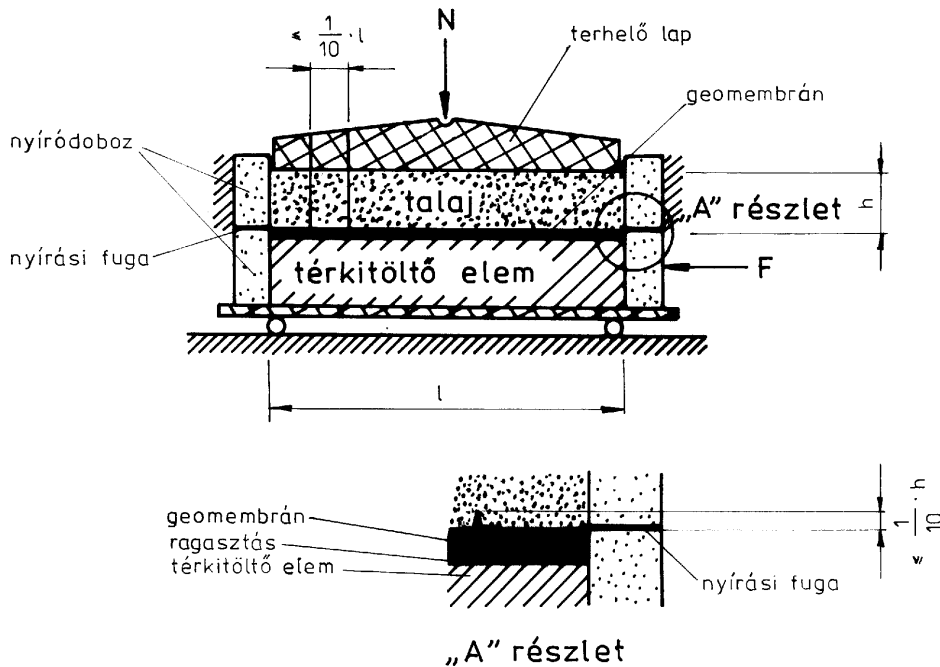
A geomembrán-geotextília-talaj közötti súrlódási szög meghatározására elsősorban a *direkt* (nyíródobozos) *nyíróvizsgálatok* ajánlottak. A kísérlet történhet egy adott normálfeszültség mellett:

- a nyíródobozok egymáson való *eltolásával* (5.39.-5.40. ábrák), ill.
- a nyíródobozok *elforgatásával*, az ún. *torziós nyírással* (5.41. ábra).



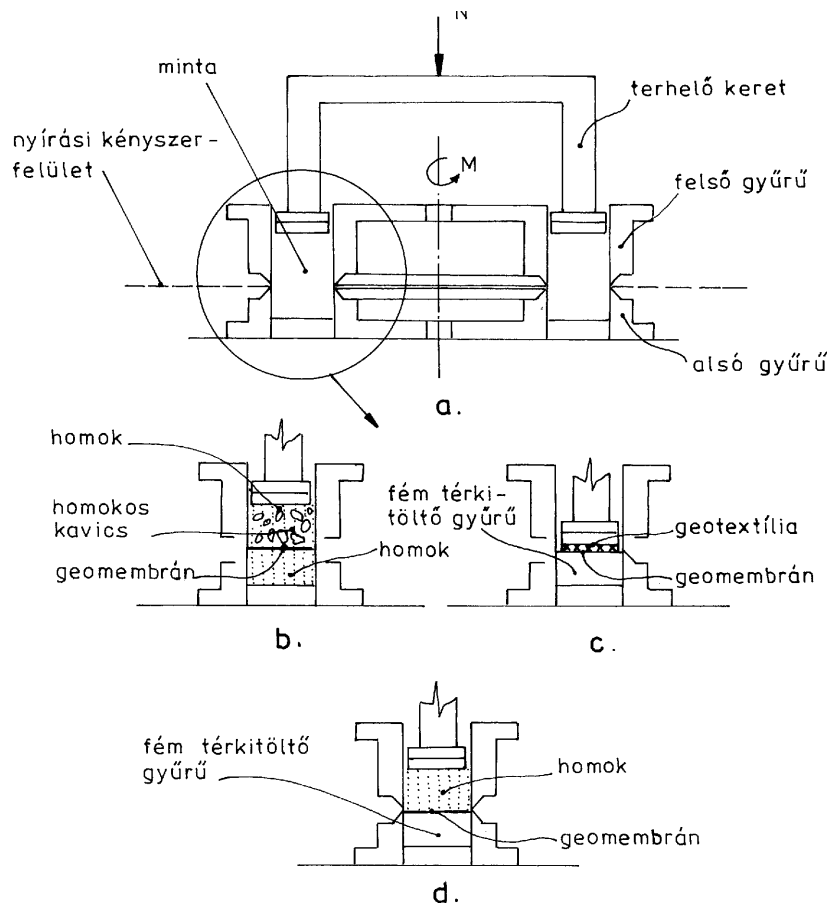
5.39. ábra

A geotextília/geomembrán és a talaj közötti súrlódási szög meghatározása nyíródobozzal (KOERNER, 1986.)



5.40. ábra

A geotextília/geomembrán és a talaj közötti súrlódási szög meghatározására szolgáló németországi ajánlás (JESSBERGER, 1992.)



5.41. ábra

A geomembrán/geotextília és a talaj közötti súrlódási szög meghatározása körgyűrű nyírókészülékkel  
(NEGUSSEY et al., 1989.)

A torziós nyírás előnye, hogy nagyobb a nyírási úthossz, s így lehetőség van a valós viszonyokat jobban megközelítő nagy elmozdulások mellett kialakuló *reziduális belső súrlódási* szög meghatározására.

A kísérleteket úgy végezzük, hogy a vizsgálni kívánt geomembránt, vagy geotextíliát az elnyíródási kényszerfelület magasságában építjük be, alatta vagy fölötté vagy mindkét oldalán a vizsgálni kívánt talaj helyezkedik el. Különböző normálterhelések ( $N$ ) mellett meghatározva a megcsúszáshoz (vagy adott nagyságú elmozduláshoz) szükséges nyíróerőt ( $T$ ) a két közeg közötti súrlódási szög meghatározható (5.39.a és 5.41. ábrák).

A strukturált felületű geomembránok (érdesített, bordás, hálós felületű) vizsgálatakor az 5.40. ábra szerinti méretek betartása ajánlott, azaz a bordák magassága, ill. távolsága ne legyen nagyobb, mint a nyíródoboz magasságának ill. vízszintes méretének 10%-a.

A távolságtartó (térkitöltő) közdarabhoz teljes felületében felerősített (pl. felragasztott) geomembrán/geotextília felülete a vizsgálat során max. 1 mm-rel lehet a nyírási kényszerfelület alatt. Az  $N$  normálerőt úgy kell megválasztani, hogy hatására a műanyag lemez számottevően ne deformálódjon.

A nyíróvizsgálatok végrehajtására érvényes hazai szabványelőírás még talajok esetében sincs. A nyírási sebességet a mintamérettől függően úgy célszerű megválasztani, hogy a kísérlet során a mintában pórúsvíznyomás-többlet ne tudjon kialakulni, amennyiben azt a kísérlet során nem mérjük.

Az **5.39.b ábra** a súrlódási szög meghatározásának egy másik (kevésbé ajánlott) lehetőségét szemlélteti, amikor nem a nyíródobozokat mozdítjuk el egymáshoz viszonyítva, hanem egy adott normálfeszültség mellett meghatározzuk a geomembrán/geotextília kihúzásához szükséges  $F$  erőt, és így különböző normáalterhelések mellett határozzuk meg az egyes elemek közötti súrlódási szöget.

Az **5.16.-5.17. táblázatok** különböző típusú geotextíliák és geomembránok egymás közötti, valamint különböző belső súrlódási szögű talajok közötti súrlódási szög tájékoztató értékeit tüntetik fel. A táblázatokból jól látszik, hogy a *legkisebb súrlódási szögek* a geotextília és a geomembrán között adódnak, azonban ez a két réteg rézsüfelületen csak akkor kerül egymásra, ha a szigetelőrendszer tisztán mesterséges anyagokból épül fel. A depónia alján a geomembrán és a szűrőréteg közé mindig kerül geotextília, azonban itt a lejtőszög csak néhány fokos. Az is jól látszik a táblázatokból, hogy a *megcsúszás veszélye nagyobb a talaj és geomembrán, mint a talaj és geotextília között.*

Az Anconai Egyetemen PASQUALINI és STELLA által végzett kísérletek rámutattak arra is, hogy az egymáson való megcsúszás szögét jelentősen befolyásolhatja a hőmérséklet is, és általában a növekedtével ez a szög csökken. Ezt a tényt, a depónia alján lévő magasabb hőmérsékletek miatt célszerű figyelembe venni (MANASSERO, 1995.).

A *kompresziós vizsgálatokra* elsősorban a hulladékdepóniák által okozott terhelés hatására bekövetkező *süllyedések*, valamint az aljzatszigetelőrétegbe beépítésre kerülő agyag *duzzadási nyomásának* a meghatározásánál van szükségünk. Az általaj süllyedésének a minél pontosabb meghatározásának különösen a felszín feletti, dombépítéssel kialakított depóniák esetében van nagy jelentősége, mert a csurgalékvizet összegyűjtő dréncsövek esetét a süllyedések bekövetkezése után is biztosítani kell.

A vizsgálatokat *ödöméterben* az MSZ 14043/8. szabvány előírásai szerint végezzük, s eredményeképpen kapjuk az *összenyomódási modulus*t, amire a süllyedésszámítás elvégzésénél van szükségünk. A süllyedésszámítás végrehajtását a 6.2.5.2 fejezet mutatja be.

Problémát okoz, hogy a fúrások maximális mélysége általában 15-20 m-nél nem nagyobb, ugyanakkor az összenyomódásnál figyelembe veendő rétegvastagság, az ún. *határmélység* ennél lényegesebb több. A mélyebben fekvő rétegekről információkat nyerhetünk:

- közvetett feltárások (pl. szondázások) révén. Sajnos az így nyert összenyomódási modulus érték is egy származtatott, bár kétségtelenül mérésen alapuló, közvetett úton nyert közetfizikai jellemző;
- átlagos értékek alapján (**5.18. táblázat**) és
- tapasztalati összefüggések alapján. Hazai átlagos kötött talajokra KOPÁCSY az alábbi tapasztalati összefüggést találta az összenyomódási modulus ( $M$ ), a plasztikus index ( $I_p$ ) és a relatív konzisztencia index ( $I_c$ ) között:

$$M = 1000 \cdot I_c \cdot (160 - 2I_p) \quad (\text{kPa}) \quad (5.9.)$$

5.16. táblázat

| <i>A geoszintetikus anyagok és a talaj közötti jellemző súrlódási szög értékek<br/>(MANASSERO et al., 1997.)</i> |                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>Az egymással érintkező felületek</b>                                                                          | <b>Súrlódási szög (<math>\delta</math>; fok)</b> |
| Geomembrán (HDPE) – homok                                                                                        | 15-28                                            |
| Geomembrán (HDPE) – agyag                                                                                        | 5-29                                             |
| Geotextília – homok                                                                                              | 22-44                                            |
| GCL – homok                                                                                                      | 20-25                                            |
| GCL – agyag                                                                                                      | 14-16                                            |
| Texturált HDPE – tömörített agyag                                                                                | 7-35<br>a=20-30 kPa                              |
| Texturált HDPE – gyöngykavics                                                                                    | 20-25                                            |
| Texturált HDPE – homok                                                                                           | 30-45                                            |
| Geotextília - agyag                                                                                              | 15-33                                            |

Megj.:

GCL: geoszintetikus és ásványi anyagból készült szigetelő lemez

a: adhézió

5.17. táblázat

| <i>A geoszintetikus anyagok közötti jellemző súrlódási szög értékek<br/>(MANASSERO et al., 1997.)</i> |                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>Az egymással érintkező felületek</b>                                                               | <b>Súrlódási szög (<math>\delta</math>; fok)</b> |
| Geomembrán (HDPE) – geonet                                                                            | 6-10                                             |
| Geomembrán (HDPE) – geotextília                                                                       | 8-18                                             |
| Geotextília – geonet                                                                                  | 10-27                                            |
| GCL – texturált HDPE                                                                                  | 15-25                                            |
| GCL – geomembrán                                                                                      | 8-16                                             |
| GCL - GCL                                                                                             | 8-25<br>a=8-30 kPa                               |
| Texturált HDPE – geonet                                                                               | 10-25                                            |
| Texturált HDPE – geotextília                                                                          | 14-52                                            |

Megj.:

GCL: geoszintetikus és ásványi anyagból készült szigetelő lemez

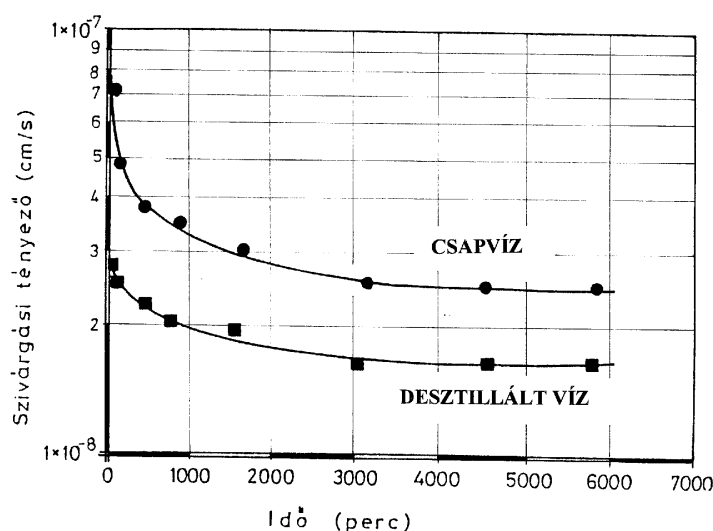
a: adhézió

5.18. táblázat

| Az összenyomódási modulus tájékoztató értékei |                                                 |                                           |                                        |                                       |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|
| Talajfajta                                    | Összenyomódási modulus, (M; kN/m <sup>2</sup> ) |                                           |                                        |                                       |
|                                               | Talajállapot                                    |                                           |                                        |                                       |
| <b>Szemcsés talajok</b>                       | laza                                            | közepes                                   |                                        | tömör                                 |
| Homokos kavics                                | 30.000...80.000                                 | 80.000...100.000                          |                                        | 100.000...200.000                     |
| Homok                                         | 10.000...30.000                                 | 30.000...50.000                           |                                        | 50.000...80.000                       |
| Homokliszt                                    | 8.000...12.000                                  | 12.000...20.000                           |                                        | 20.000...30.000                       |
| <b>Kötött talajok</b>                         | puha<br>(I <sub>c</sub> < 0,5)                  | képlékeny<br>(I <sub>c</sub> = 0,5...1,0) | kemény<br>(I <sub>c</sub> = 1,0...1,5) | igen kemény<br>(I <sub>c</sub> > 1,5) |
| Iszapos homokliszt                            | 5.000...8.000                                   | 10.000...15.000                           | 15.000...20.000                        | 20.000...40.000                       |
| Iszap                                         | 3.000...6.000                                   | 6.000...10.000                            | 10.000...15.000                        | 15.000...30.000                       |
| Sóvány agyag                                  | 2.000...5.000                                   | 5.000...8.000                             | 8.000...12.000                         | 12.000...20.000                       |
| Kövérszagos agyag                             | 1.500...4.000                                   | 4.000...7.000                             | 7.000...12.000                         | 12.000...30.000                       |
| Szerves iszap                                 | 500...5.000                                     |                                           |                                        |                                       |
| Szerves agyag                                 | 500...4.000                                     |                                           |                                        |                                       |
| Tőzeg                                         | 100...2.000                                     |                                           |                                        |                                       |

5.4.5. A természetes anyagú szigetelőréteg és a csurgalékvíz kompatibilitásának a kérdései

A természetes anyagú (agyag) szigetelőrétegek időállóságának a legnagyobb problémája, hogy igen nehezen becsülhető az agyagréteg közt fizikai jellemzőinek a szennyezőanyag hatására bekövetkező változása. A beépíthetőség és szigetelőképeség megítélése többnyire laboratóriumi vagy in situ körülmények között végrehajtott vizsgálatok alapján történik. A kísérletek időtartama általában rövid, az agyagban lévő pórufolyadék vagy a vizsgálatokhoz (szivárgási) használt folyadék általában közönséges csapvíz, esetleg desztillált víz.



5.42. ábra

Csapvíz és csurgalékvíz esetén kapott szivárgási tényező értékek (DUNN - MITCHELL, 1984.)

Az **5.42. ábra** jól mutatja, hogy már viszonylag csekély koncentrációváltozás hatására is változhat a mért szivárgási tényező értéke. A folyamat időben sem állandó, illetve egy bizonyos időnek el kell telnie ahhoz, hogy a folyamat stabilizálódjon. (DUNN-MITCHELL, 1984.). Ha figyelembe vesszük, hogy a valóságban a hulladékból kioldódó vagy kémiai reakciók révén keletkező csurgalékvíz kémiai igen aktív (l. **7.8.-7.11. táblázatokat**), akkor várható, hogy az az eredeti közetszerkezetre jelentős hatást gyakorolhat, sőt azt teljesen meg is változtathatja, és az eredetileg vízzárónak ítélt agyagréteg az *ioncsere* és az *adszorpció* révén a kicserélődő pórusfolyadék jellegétől és kémhatásától függően kisebb nagyobb változásokat szenved, sok esetben áteresztővé válik.

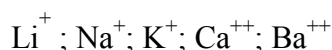
Sajnos mai ismereteink szerint a lejátszódó folyamatok összetettsége miatt nem adható meg egy általános recept a változás tendenciájára. Nagyon sok - esetenként egymásnak merőben ellentmondó - mérési adat áll rendelkezésre. Az egyidejűleg lejátszódó, hatásában sokszor ellentétes változást kiváltó folyamatok eredőjét mindig a domináns jelenség(ek) fogja(k) megszabni. A kísérleteket általában a valósághoz képest egyszerűsített feltételek mellett végzik (pl. csurgalékvíz helyett valamilyen összetételű pórusfolyadék), s ezért nehéz a bonyolult, összetett, valós folyamatok előrejelzése. Mindenesetre bizonyos általános, egyértelmű tendenciákat ismerünk, és a következőkben, kísérleti adatokkal alátámasztva, áttekintjük a csurgalékvíznek a közetfizikai jellemzőkre gyakorolt hatását, majd külön fejezetben tárgyaljuk a számunkra legfontosabb jellemző, a szivárgási tényező megváltozását.

### 5.4.5.1. *A szennyezőanyag hatása a közetfizikai jellemzőkre*

Mint az előzőekben már említettük, a bekövetkező változás mindig egy összetett elektrokémiai folyamat eredménye, azonban a könnyebb tárgyalhatóság és a rendelkezésre álló kísérletek irányítotttsága szükségessé teszi, hogy külön tárgyaljuk az ioncsere és az adszorpció hatására és a pórusfolyadék jellegére vonatkozó kísérleti eredményeket, s a belőlük levonható következtetéseket (JUHÁSZ-SZABÓ, 1991.).

#### *A. Az ioncsere és az adszorpció hatása a közetfizikai jellemzőkre*

A talajok *térfogatváltozási tulajdonságainak* a hulladéklerakóknál is nagy jelentősége van. Az eltérő jellegek kifejezésre jutnak a kompresszió okozta süllyedésekben, a térfogatváltozás szilárdságváltozást is eredményezhet. SALAS-SERRATOSA (1953.) kaolinitok és bentonitok kompressziós tulajdonságait vizsgálták. Kaolinit esetében a kationok jellegéből adódó értékelhető differenciát nem találtak a kaolinit kicsi cserekapacitása miatt, bentonitok esetében ugyanakkor a kationok jellegétől függően a kompressziós görbék jelentős eltéréseket mutattak. A kompresszibilitási sorrend a következő volt:



A kicserélhető ionoknak a *konzisztencia jellemzőkre* gyakorolt hatását szemlélteti az **5.19. táblázat** LAMBE és WHITMAN (1969.) vizsgálatai alapján.

Igen értékesek és részletesek QUIGLEY-FERNANDEZ (1987.) vizsgálatai, amelyek nem elsősorban a közetfizikai jellemzők változására irányultak, hanem az *egyes elemek migrációját és megkötődését vizsgálták egy igen részletesen feltárt kommunális hulladék-lerakón* (Sarnia-Ontarió). Vizsgálataik közül mutat be egyet az **5.43. ábra**. Mint látható a kloridion esetében igen

gyorsan, már mintegy kétszeri pórusterfogot kicserélődés után a mintán átjutó folyadék koncentrációja eléri a kiindulási koncentrációt. Ugyanez tapasztalható a  $\text{Ca}^{++}$  és a  $\text{Mg}^{++}$  esetén sőt, itt kezdetben a talajból történő kioldódást tapasztaltak. A  $\text{Na}^+$  koncentráció görbéje bizonyos késleltetést mutat. A legérdekesebb a  $\text{K}^+$ -koncentráció alakulása, s látható, hogy a vizsgálatnál a  $\text{K}^+$ -adszorpció igen jelentős volt. Az egyes elemek különböző mértékű megkötődésének a szigetelőréteg vastagságának a méretezésénél, illetve a szennyezőanyag terjedés számításánál van jelentősége.

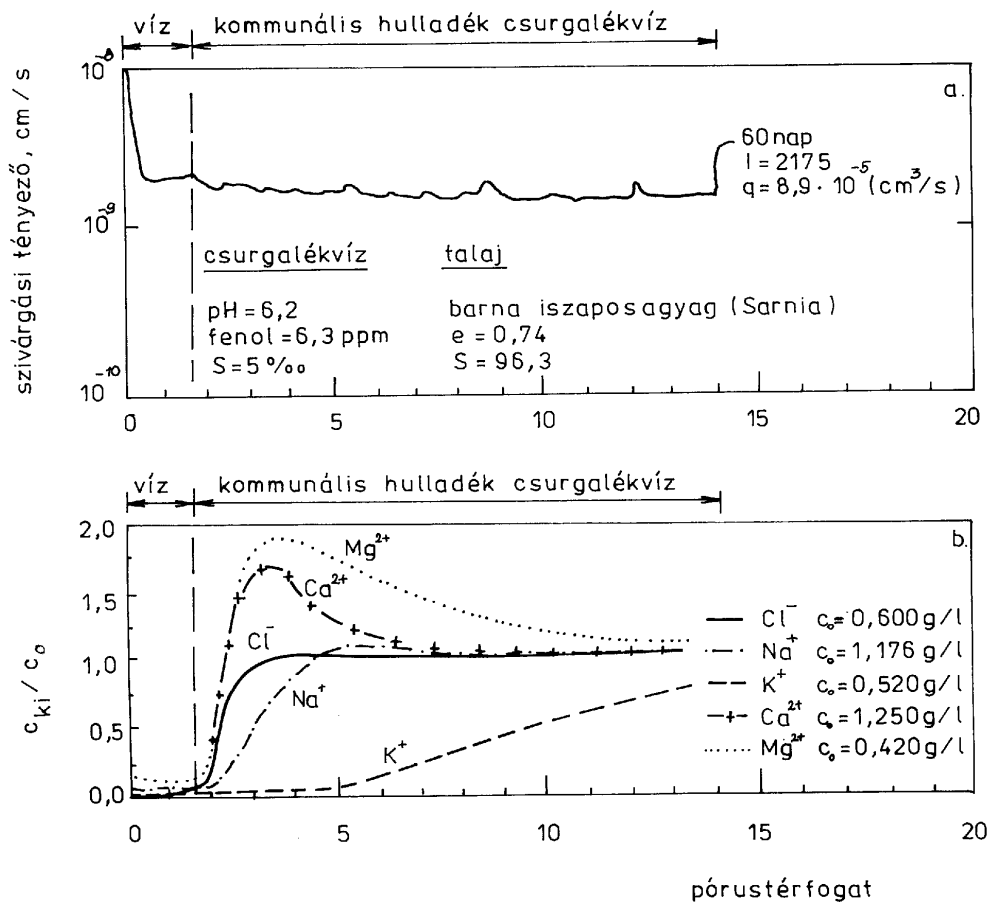
Az *anionok* és az agyagásványok kölcsönhatása meglehetősen bonyolult, s közel sem olyan jól tanulmányozott, mint a *kationcsere*. Elsősorban néhány anionra ( $\text{P}^{5-}$ ,  $\text{As}^{3-}$ ,  $\text{B}^{3-}$ ) vonatkozóan ismertek vizsgálatok, ezekből azonban még nehéz lenne általános érvényű következtetéseket levonni.

**5.19. táblázat**

| <i>Agyagásványok konzisztencia jellemzőinek változása a kicserélhető kationok függvényében (LAMBE-WHITMAN, 1969.)</i> |                         |                          |                             |                             |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                                                                                                                       | <b>Kicserélhető ion</b> | <b>Folyási határ (%)</b> | <b>Plasztikus határ (%)</b> | <b>Plasztikus index (%)</b> | <b>Zsugorodási határ (%)</b> |
| Montmorillonit                                                                                                        | $\text{Na}^+$           | 710                      | 54                          | 656                         | 9,9                          |
|                                                                                                                       | $\text{K}^+$            | 660                      | 98                          | 562                         | 9,3                          |
|                                                                                                                       | $\text{Ca}^{++}$        | 510                      | 81                          | 429                         | 10,5                         |
|                                                                                                                       | $\text{Mg}^{++}$        | 410                      | 60                          | 350                         | 14,7                         |
|                                                                                                                       | $\text{Fe}^{3+}$        | 290                      | 75                          | 215                         | 10,3                         |
|                                                                                                                       | $\text{Fe}^{3+} *$      | 140                      | 73                          | 67                          | -                            |
| Illit                                                                                                                 | $\text{Na}^+$           | 120                      | 52                          | 67                          | 15,4                         |
|                                                                                                                       | $\text{K}^+$            | 120                      | 60                          | 60                          | 17,5                         |
|                                                                                                                       | $\text{Ca}^{++}$        | 100                      | 45                          | 55                          | 16,8                         |
|                                                                                                                       | $\text{Mg}^{++}$        | 95                       | 46                          | 49                          | 14,7                         |
|                                                                                                                       | $\text{Fe}^{3+}$        | 110                      | 49                          | 61                          | 14,7                         |
|                                                                                                                       | $\text{Fe}^{3+} *$      | 79                       | 46                          | 33                          | -                            |
| Kaolinit                                                                                                              | $\text{Na}^+$           | 53                       | 32                          | 21                          | 26,8                         |
|                                                                                                                       | $\text{K}^+$            | 49                       | 29                          | 20                          | -                            |
|                                                                                                                       | $\text{Ca}^{++}$        | 38                       | 27                          | 11                          | 24,5                         |
|                                                                                                                       | $\text{Mg}^{++}$        | 54                       | 31                          | 23                          | 28,7                         |
|                                                                                                                       | $\text{Fe}^{3+}$        | 59                       | 37                          | 22                          | 29,2                         |
|                                                                                                                       | $\text{Fe}^{3+} *$      | 56                       | 35                          | 21                          | -                            |
| Attapulgit                                                                                                            | $\text{H}^+$            | 270                      | 150                         | 120                         | 7,6                          |

\* 5-szöri nedvesítési és szárítási ciklus után





5.43. ábra

A talaj és a csurgalékvíz kompatibilitása

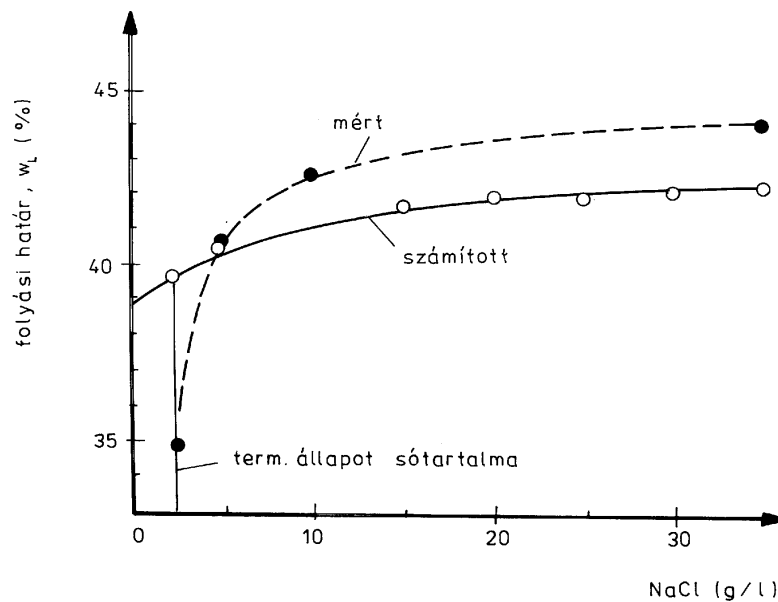
- a. a szivárgási tényező változása az átszivárgó csurgalékvíz mennyiségének a függvényében
- b. az átszivárgó csurgalékvíz kémiai összetételének változása, az elemek mozgékonyága függvényében (QUIGLEY - FERNANDEZ, 1987.)

### B. A pórusfolyadék jellegének hatása a kőzetfizikai jellemzőkre

A pórusfolyadék jellege hatásának tárgyalása a nemzetközi irodalomban általában három jellemzőre irányul. Ezek:

- az elektrolitkoncentráció,
- a pH érték és
- a dielektromos állandó (relatív permittivitás).

BOLT (1956.) volt az első egyike, aki felismerte a pórusfolyadék *ionkoncentrációjának*, azaz az elektrolitkoncentrációnak a hatását az egydimenziós konszolidáció kísérleti eredményeire. A *sótartalom növekedésének vagy csökkenésének az agyagok tulajdonságaira gyakorolt hatása* később az egyik favorizált kutatási területté vált. ROSENQVIST (1955.) volt az első, aki a pórusfolyadék NaCl koncentrációjának a folyási határral gyakorolt hatásával foglalkozott (5.44. ábra).



5.44. ábra

A pórusfolyadék NaCl-koncentrációjának hatása a minta (Quick Clay) folyási határára (ROSENQUIST, 1985.)

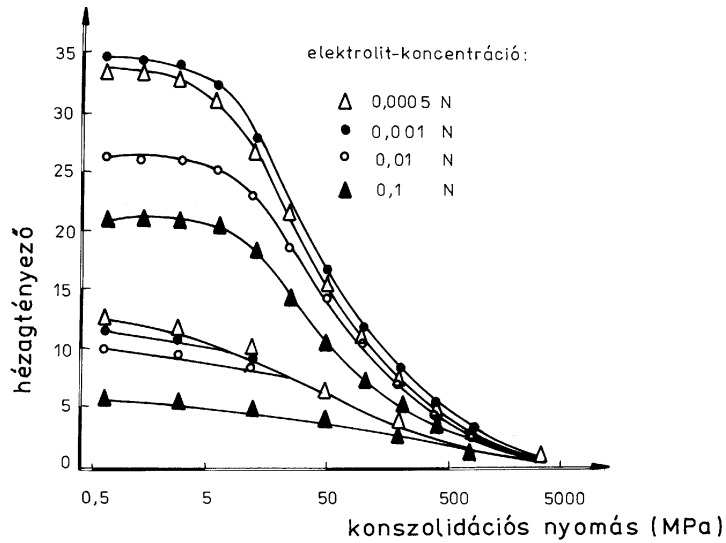
Ugyancsak az elektrolitkoncentráció jelentőségére hívja fel a figyelmet OLSON-MERSI (1971.). Az 5.45. ábrán a Na-montmorillonit kompressziós görbéi láthatók az elektrolit koncentráció függvényében. Mint tudjuk, a diffúz kettős réteg vastagságát a

$$d = \frac{1}{e \cdot z} \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot k \cdot T}{8\pi \cdot c_0}} \quad (5.10.)$$

összefüggés adja meg, ahol:

- $\varepsilon$  = az oldat dielektromos állandója,
- $k$  = a Boltzmann állandó,
- $T$  = az abszolút hőmérséklet,
- $e$  = az elemi töltés ( $1,602 \cdot 10^{-19}$  coulomb),
- $c_0$  = a felülettel ellentétes töltésű ionok koncentrációja az oldatban,
- $z$  = az ion töltésszáma.

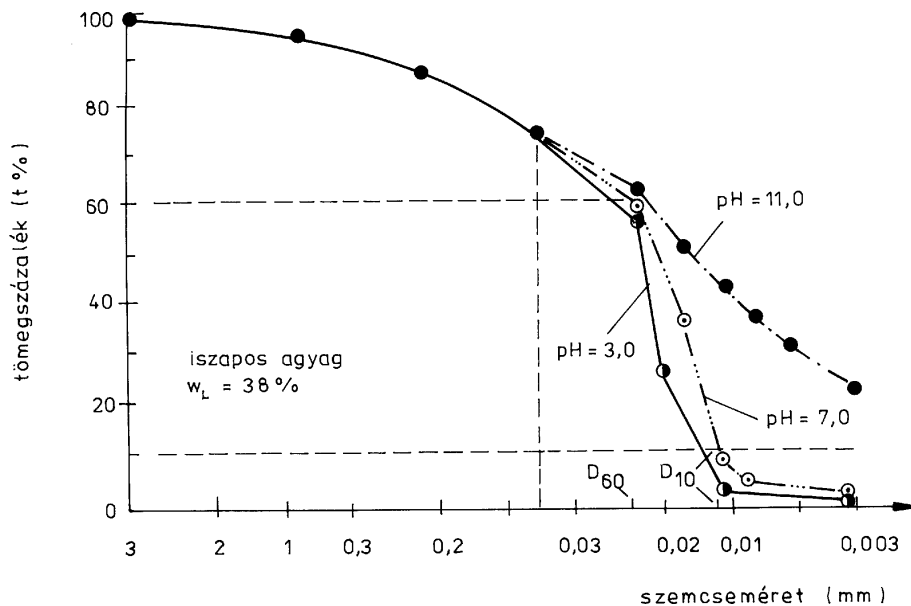
A diffúz kettős réteg vastagsága tehát egyenesen arányos az agyagrészecskék közötti taszító erővel és annál nagyobb, minél kisebb a kation töltése, illetve minél nagyobb mértékű az ion hidratációja és minél kisebb az elektrolit koncentrációja (BERECZ, 1991.). Az 5.45. ábra jól szemlélteti, hogy a nagyobb hidratáltság és kisebb elektrolit koncentráció miatt a nagyobb diffúz kettős réteggel rendelkező minták jobban komprimálhatók voltak.



5.45. ábra

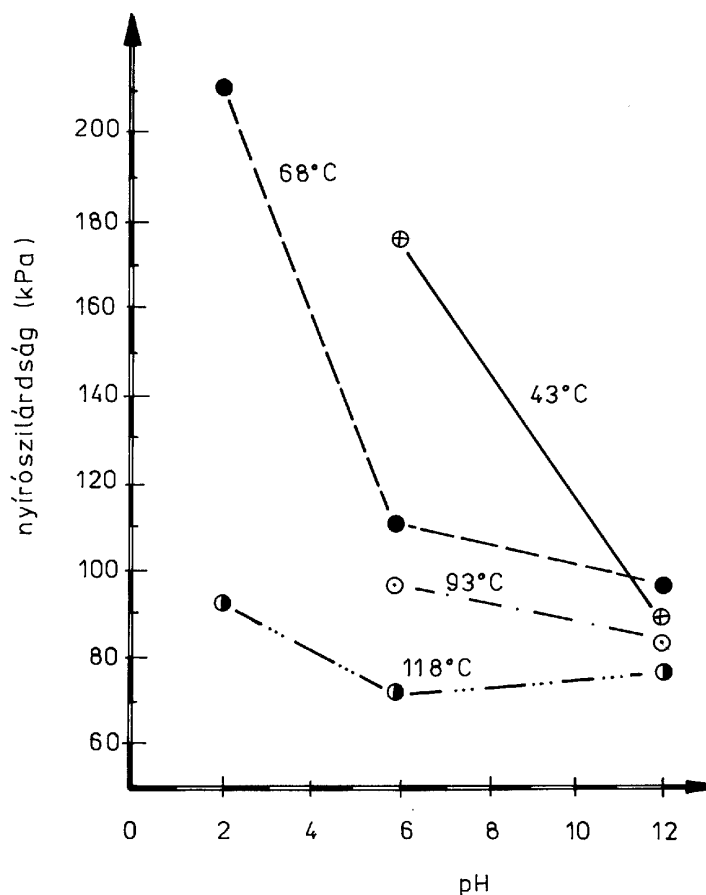
Az elektrolitkoncentráció hatása a kőzetek kompresszibilitására  
(OLSON - MESRI, 1971.)

A pórufolyadék pH értékének a hatása elsősorban a kőzetszerkezetre van hatással. Az 5.46. ábra jól mutatja, hogy savas közegben a szemcsék flokkulálódnak, lúgos közegben pedig diszpergálódnak (FANG, 1987.). NAIK (1989.) egy speciálisan átalakított triaxiális cellában vizsgálta a nyírószilárdságra gyakorolt hatást. Az 5.47. ábra azt a feszültséget tünteti fel, amelynél konstans oldalnyomás mellett (207 kPa) a minta tönkrement. A nyírószilárdságot az első tönkremeneteli felület megjelenéséhez, vagy a 20% axiális deformáció eléréséhez (amelyik előbb következett be) szükséges normálfeszültség értékében definiálta. Vizsgálatai alapján azt a következtetést vonta le, hogy a fentiek szerint értelmezett nyírószilárdság értéke a pórufolyadék pH értékének növekedésével csökkent, éppúgy mint a hőmérséklet növekedtével.



5.46. ábra

A pórufolyadék pH-értékének hatása a szemcseeloszlási görbére  
(FANG, 1987.)



5.47. ábra

Bentonit-homok keverék nyírószilárdságának alakulása a pH-érték és a hőmérséklet függvényében (FANG, 1987.)

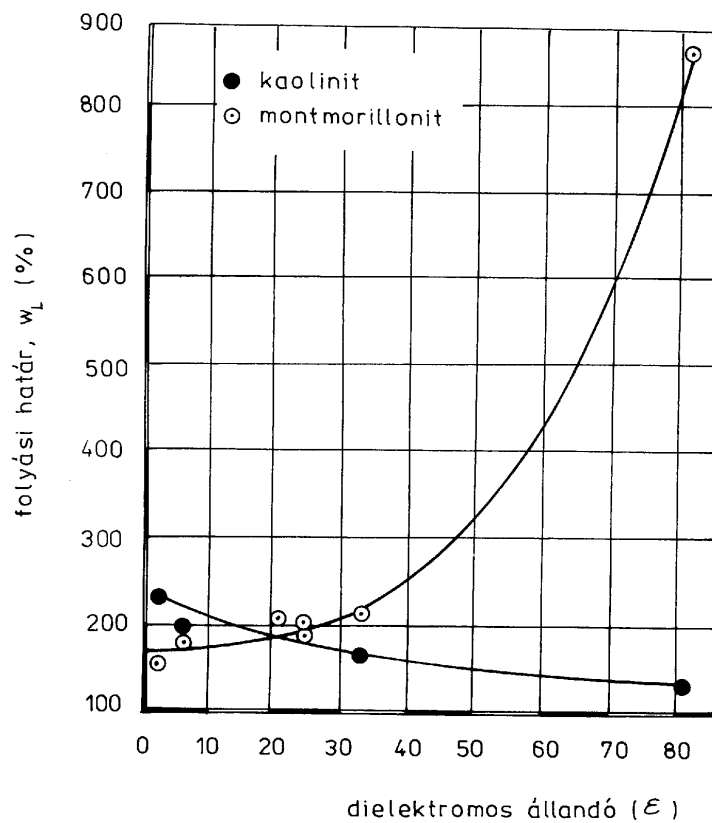
SIVAPULLAIAH-SRIDHARAN (1987.) a pórusfolyadék *dielektromos állandójának* (relatív permittivitásának,  $\epsilon$ ) a folyási határra ( $w_L$ ) gyakorolt hatását vizsgálta különböző szerves vegyületeket használva pórusfolyadékként (5.48. ábra). A kaolinit és montmorillonit minták ellentétes viselkedést mutattak. A legtöbb szerves vegyület dielektromos állandója sokkal kisebb mint a vízé. Ha a diffúzió réteg vastagságát kifejező 5.10. összefüggésben szereplő összes változót  $\epsilon$  kivételével konstansnak választjuk, ábrázolhatjuk a diffúzió rétegben a kolloid részecskétől való távolság függvényében a potenciáeloszlást, amit a következő kifejezésből kaphatunk meg:

$$\Psi_x = \Psi_0 \cdot e^{-\frac{x}{d}} \quad (5.11.)$$

ahol:

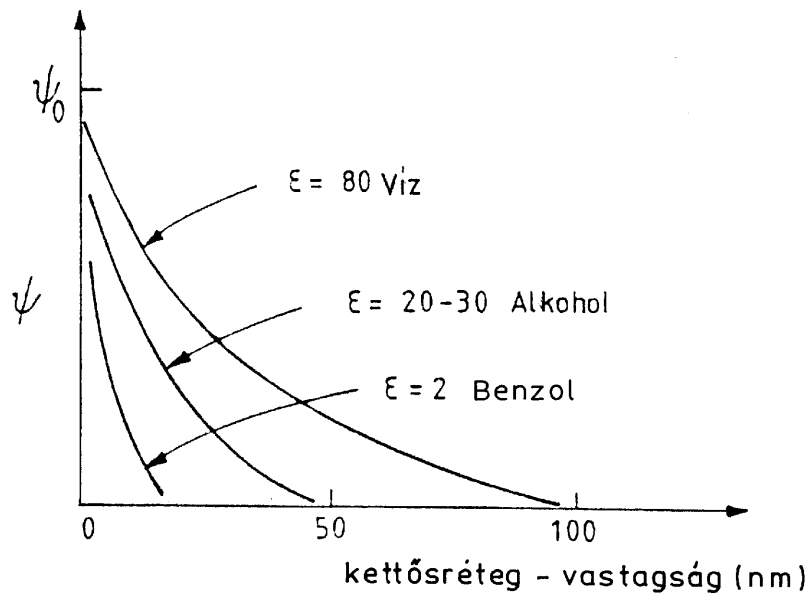
$\Psi_x$  = a potenciál az agyag-kolloid felülettől  $x$  távolságban,

$\Psi_0$  = az agyag-kolloid felületén lévő elektromos potenciál.



5.48. ábra

A dielektromos állandó és a folyási határ kapcsolata (SIVAPULLAIAH - SRIDHARAN, 1987.)

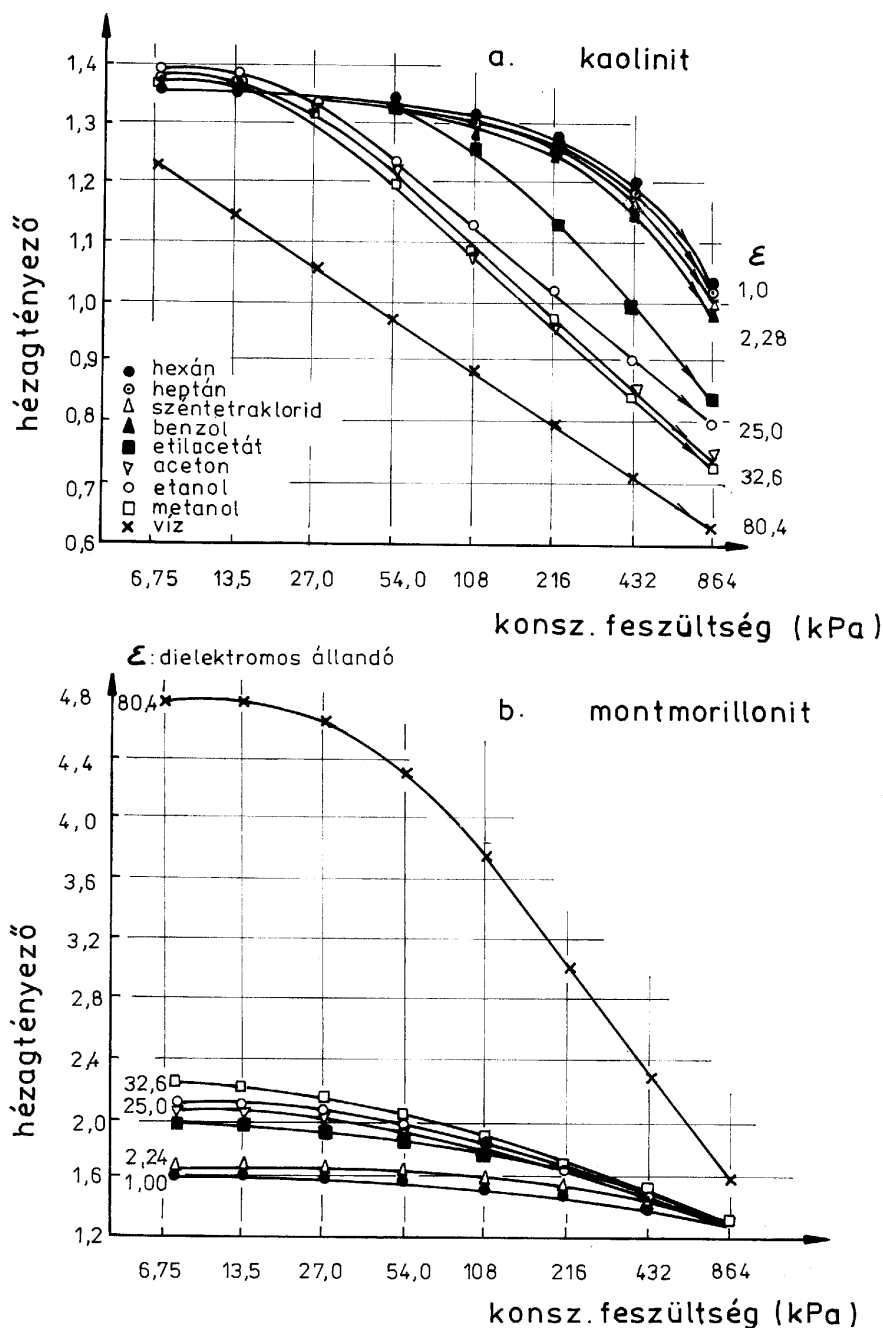


5.49. ábra

A diffúz kettős réteg vastagságának a nagysága különböző dielektromos állandójú pórufolyadékok esetén (FERNANDEZ - QUIGLEY, 1985.)

A potenciáleloszlást az **5.49. ábra** szemlélteti (FERNANDEZ-QUIGLEY, 1985.). Mint látható, víz esetén ( $\epsilon=80,4$ ) a diffúz kettős réteg vastagsága kb. 100 nm, míg benzol esetén ( $\epsilon = 2$ ) ez jelentősen lecsökken, kb. 15 nm-re.

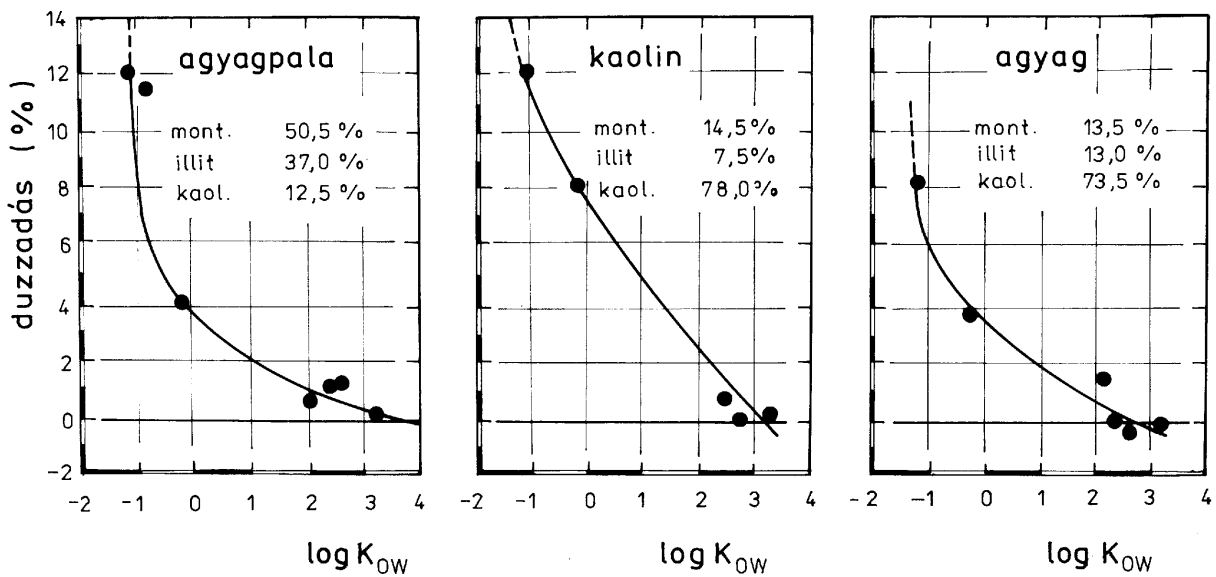
A porusfolyadék dielektromos állandójának növekedésével az elektromos vonzerők csökkennek, a taszítóerők nőnek, és ugyancsak nő a kettős réteg vastagsága.



**5.50. ábra**

Kaolinit (a.) és montmorillonit (b.) egydimenziós konszolidációs görbéi különböző porusfolyadékok esetén (SRIDHARAN - SIVAPULLAIAH, 1987.)

Az ellenálló erő csökkenése kisebb, míg a kettős réteg vastagságának a növekedése nagyobb folyási határt eredményez. A két hatás egymással ellentétes és az eredmény a *domináns hatástól függ*. A kaolinit rácsszerkezete duzzadásra kevésbé hajlamos, így a folyási határt elsősorban a szemcsék közötti ellenállás fogja megszabni, ami viszont a folyási határ csökkenéséhez vezet. Ugyanakkor a montmorillonit erősen duzzadó rácsszerkezettel rendelkezik, így a szemcsék közötti ellenálló erők változásának hatására bekövetkező folyási határ csökkenésénél lényegesen erősebb a diffúz kettős réteg eredményezte növekedési tendencia. Így az 1,89 dielektromos állandójú hexán esetén a  $w_L = 149,2\%$ , míg víznél  $w_L = 866\%$  értéket mértek. Jól szemlélteti a kaolinit és montmorillonit ellentétes viselkedését az **5.50. ábra** is (SRIDHARAN-SIVAPULLAIAH, 1987.), amelyen a különböző dielektromos állandójú pórufolyadékok ( $\epsilon = 1,89-80,4$ ) esetén mért konszolidációs görbéket láthatjuk. Az előzőekben leírtak mindkét viselkedésre tökéletes magyarázatot adnak itt is. ACAR (1985.), GREEN és szerzőtársai (1983.) különböző szerves oldószerekkel vizsgálva az agyagok duzzadását, arra a következtetésre jutottak, hogy az agyagok annál nagyobb mértékben duzzadnak, minél nagyobb a szerves oldószer dielektromos állandója. A jelenségek jobb értelmezéséhez bevezették az adott szerves oldószer oktanol és víz közötti  $k_{ow}$  megoszlási hányadost, ami a szerves folyadék hidrofób, ill. hidrophil sajátosságának a mértéke (BERECZ, 1991.). Minél kisebb volt az adott szerves oldószerre a  $k_{ow}$  értéke (minél hidrophilebb karakterű volt a szerves folyadék), annál erősebb duzzadást mutattak a vizsgált agyagminták (**5.51. ábra**).



| Pórus-folyadék    | víz   | aceton | triklór-etilén | tetraklór-metán (CCl <sub>4</sub> ) | benzol | xilén |
|-------------------|-------|--------|----------------|-------------------------------------|--------|-------|
| lgK <sub>ow</sub> | -1,15 | -0,24  | 2,37           | 2,64                                | 2,13   | 3,15  |
| $\epsilon$        | 79,38 | 20,70  | 3,42           | 2,24                                | 2,28   | 2,72  |

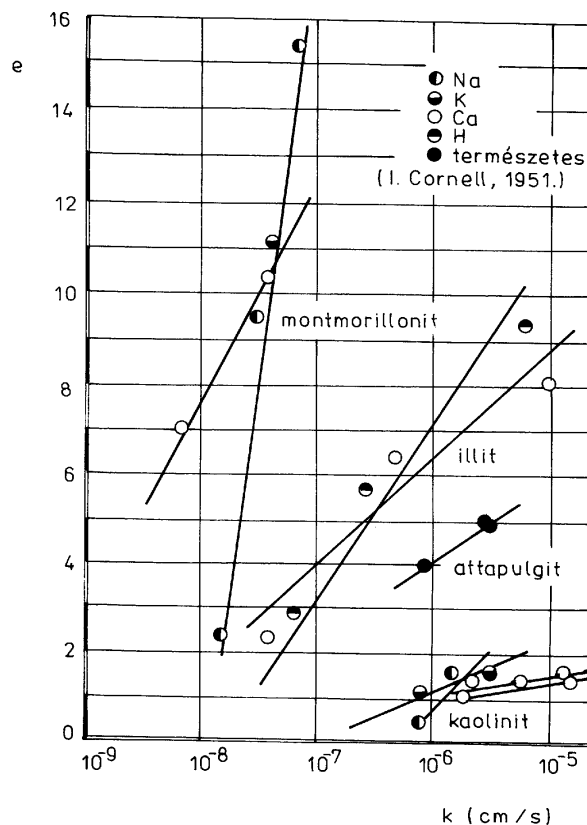
**5.51.ábra**

Három különböző összetételű agyag duzzadása az adott szerves oldószer oktanol és víz közötti megoszlási hányadosának a függvényében (GREEN et al., 1983.)

#### 5.4.5.2. A szennyezőanyagok hatása az agyagok szivárgási tényezőjének az értékére

A hulladéklerakóhelyek kijelölésének szempontjai között világszerte szerepel olyan előírás, amely meghatározza, hogy a hulladékot milyen szivárgási tényezőjű rétegen szabad lerakni (HORVÁTH, 1991.).

Minden szabályozás feltételezi, hogy a talaj szivárgási tényezője időben állandó. Emiatt, ha a lerakás engedélyezésekor a termett talaj szivárgási tényezője, vagy a természetes anyagú épített szigetelőrétegek megfelelnek az előírásoknak, a lerakóhely üzemelési engedélyt kap. A valóságban azonban a *talaj szivárgási tényezője* a hulladéklerakás következtében megváltozott körülmények között *nem lesz állandó*, hanem több tényező kölcsönhatása alatt időben változni fog. Hulladéklerakók tervezésekor - amennyiben a környezet szennyezését el akarjuk kerülni - ezzel a ténnyel mindenképpen számolni kell. Amennyiben a kőzet és a szennyezőanyag kölcsönhatását vizsgálni akarjuk, figyelembe kell venni mind a szigetelőanyagként használt *kőzetek* eltérő viselkedését, mind a *csurgalékvíz jellegétől, összetételétől* függő hatást. Míg a kőzetek várható viselkedését viszonylag jól tudjuk becsülni, addig a csurgalékvizek okozta hatás megítélése többnyire csak konkrét laboratóriumi vizsgálatok alapján dönthető el. *Mai ismereteink szerint általános érvényű "receptek" a szennyezőanyagok várható hatására nem adhatók.* Az alábbiakban áttekintjük azokat az eredményeket, amelyek *segíthetnek eligazodni* ebben a bonyolult kérdésben, s támpontot nyújthatnak a kísérletek megtervezéséhez, végrehajtásához.



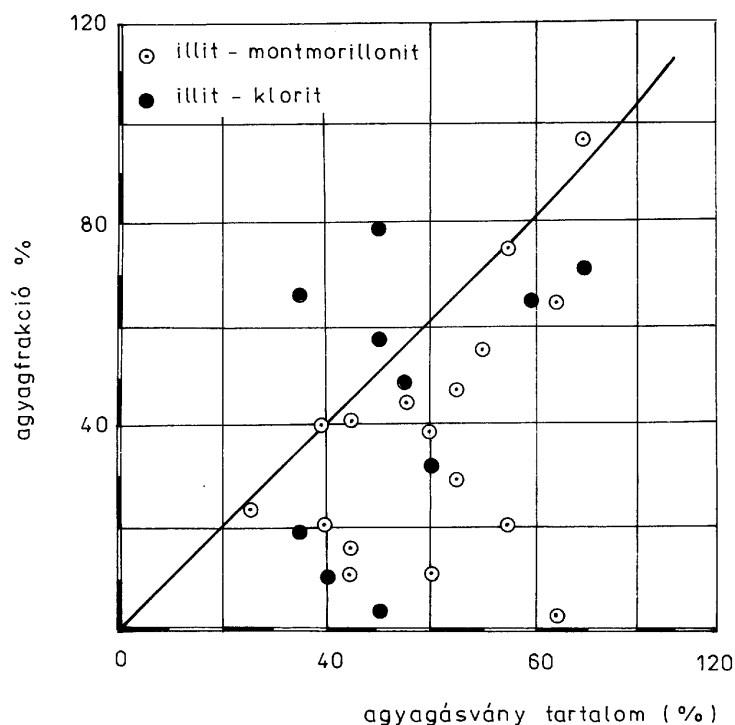
5.52. ábra

Az agyagásványos összetétel hatása a szivárgási tényező értékére (LAMBE, 1969.)



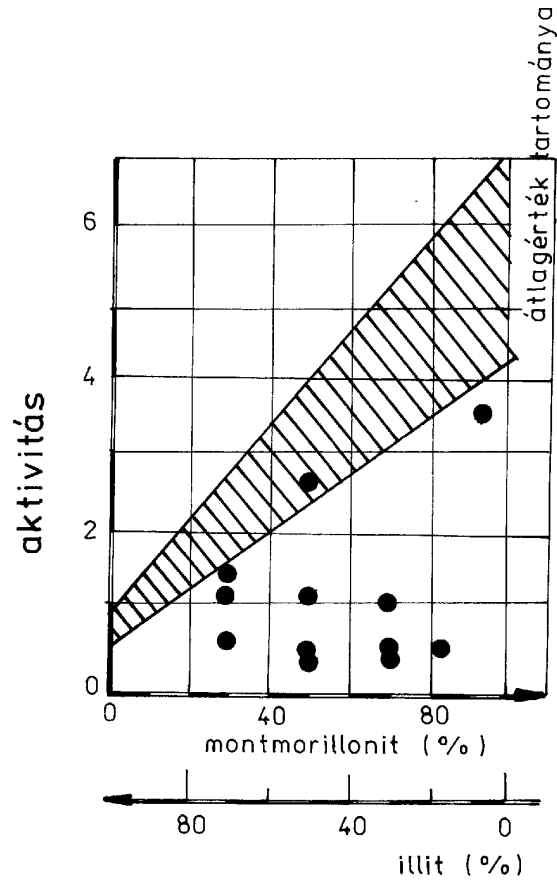
LAMBE (1969.) szerint a szivárgási tényezőt a kőzet oldaláról alapvetően befolyásolja a következő öt tényező: *a szemcseeloszlás, a hézagtényező, az ásványos összetétel, a kőzetszerkezet és a telítettség.* A szigetelőanyagként számításba jöhető agyagoknál (megfelelően tömörített, ill. konszolidált réteg estén) a domináns két tényező az ásványos összetétel és a kőzet szerkezete. Az **5.52. ábra** LAMBE (1969.) vizsgálatai alapján mutat rá az *agyagásványos összetétel, a hézagtényező és a szivárgási tényező* kapcsolatára. Mint látható, ugyanakkora hézagtényező mellett is az uralkodó agyagásványtól függően több nagyságrendnyi eltérés adódhat a réteg szivárgási tényezőjében, s mint láttuk (5.48. ill. 5.50. ábrák) viselkedésük sem lesz azonos a különböző összetételű porúsfolyadékok esetén.

A *kőzet szerkezete* szintén jelentős szerepet játszik a permeabilitás alakulásában. A *flokkulált* szerkezethez közelebb álló agyagoknak általában nagyobb a szivárgási tényezőjük, mint a *diszpergált* szerkezethez közelebb állóknak (l. 5.12. ábra). Valójában az *ásványos összetétel és a szerkezet* együttes, többnyire nehezen különválasztható hatását mutatják az **5.53-5.54. ábrák**. LAMBE és MARTIN az agyagok szemcseeloszlás-plaszticitás kapcsolatának vizsgálatára irányuló kísérleteik során rámutattak, hogy az agyagásványok közötti elektrosztatikus kölcsönhatások eredményeként *aggregátumok* is létrejöhetnek (**5.53. ábra**). Kialakulásuk jelentősen befolyásolhatja pl. az agyag *SKEMPTON-féle aktivitás-értékét* (**5.54. ábra**), és lényegében az *agyagásványos összetétel alapján várható értékénél kisebb lesz a kőzet aktivitása*, ami viszont hatásal lehet a szigetelőréteg szivárgási tényezőjére, ill. a szennyezőanyagokkal szembeni visszatartó képességére (**5.55. ábra**; ACAR-D'HOLLOSY, 1987.). A probléma összetett voltát növeli, hogy ezek az aggregátumok magának a csurgalékvízben lévő szennyező anyagnak a hatására is kialakulhatnak.



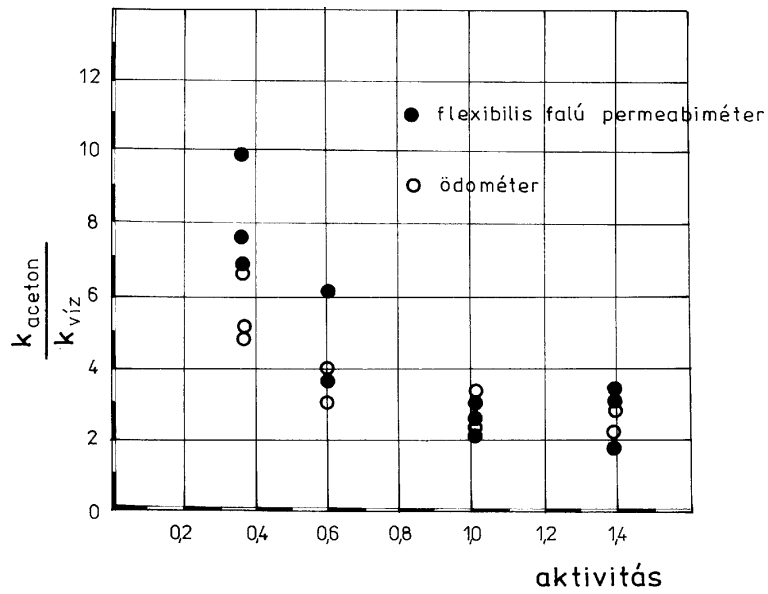
**5.53. ábra**

Összefüggés az agyagtartalom és az agyagásvány-tartalom között (LAMBE, 1958.)



5.54. ábra

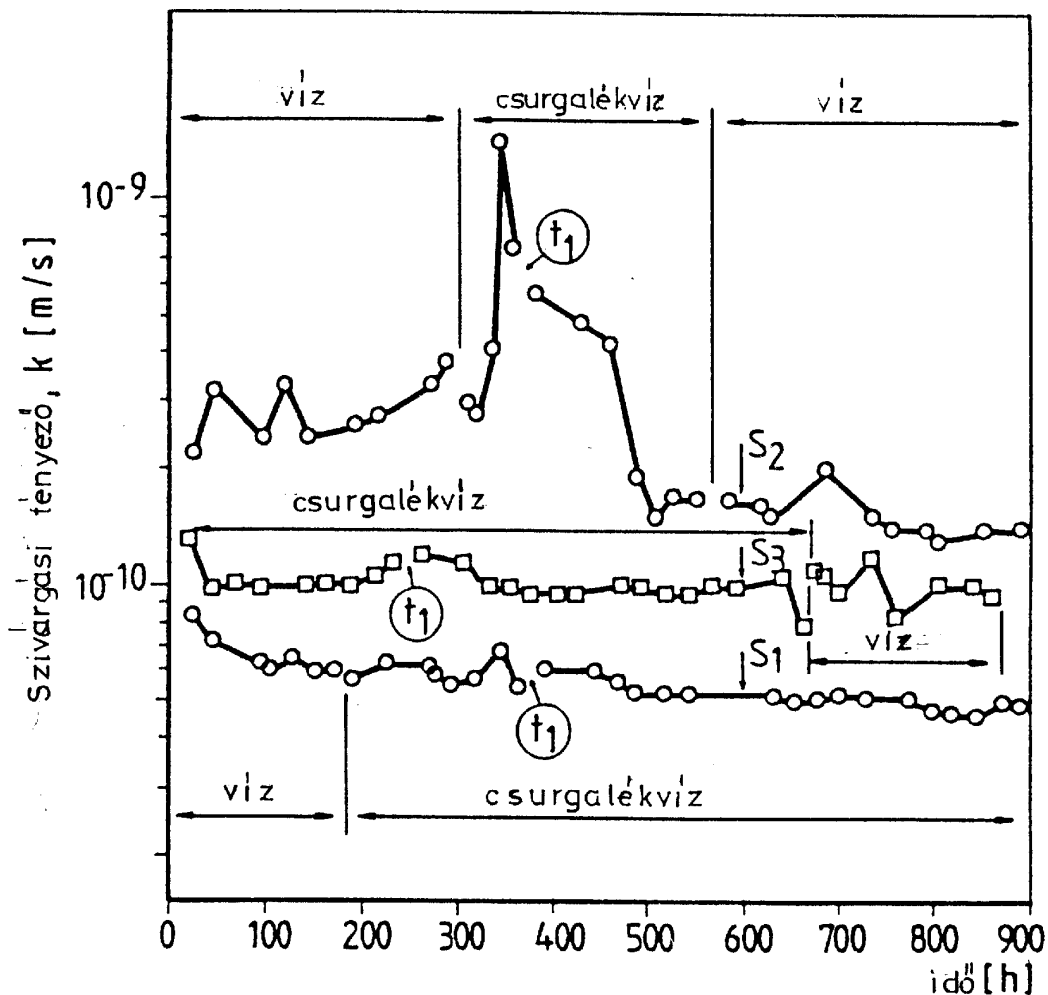
A Skempton-féle aktivitás és az ásványos összetétel kapcsolata (LAMBE, 1958.)



5.55. ábra

A szivárgási tényező és a Skempton-féle aktivitás kapcsolata (ACAR - D'HOLLOSY, 1987.)

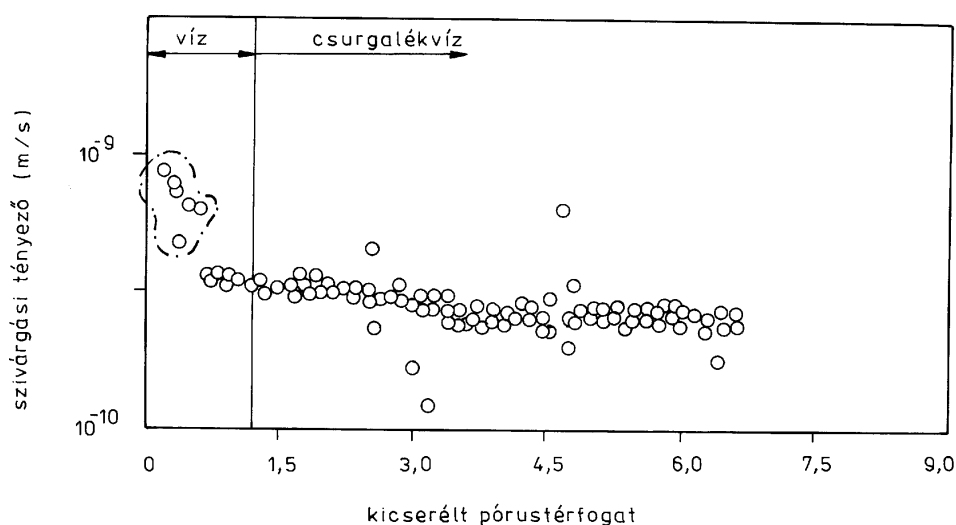
Már az 5.42. ábra is rámutatott, hogy a pórusfolyadék és a kőzet kölcsönhatása következtében nem kapunk azonos szivárgási tényező értéket, ha a kísérletet desztillált vízzel vagy csapvízzel végezzük. Az 5.56-5.57. ábrák egyértelműen mutatják, hogy a csurgalékvíz hatására a kőzet szivárgási tényezője jelentősen megváltozott. FANG-EVANS (1986.) vizsgálatainál a kísérlethez használt folyadék a kezdeti víz után semleges kémhatású csurgalékvíz volt (898 mg/l Cl<sup>-</sup>; 300 mg/l Mg<sup>++</sup>; 400 mg/l SO<sub>4</sub><sup>-</sup>; 258 mg/l Fe<sup>3+</sup>). FINNO-SCHUBERT (1986.) vizsgálatainál a kísérleti folyadék már szerves komponenset (3 mg/l fenol; 0,03 mg/l benzol; 0,13 mg/l metilén-klorid) is tartalmazott, s kísérlet közben a hidraulikus gradiens értékeket 120-ról 300-ra növelték. Nyilvánvaló, hogy a több szerves és szervetlen komponenset is tartalmazó csurgalékvízzel történő vizsgálatokból nehéz tendenciákat megállapítani. Éppen ezért a következőkben vegyület-csoportonként próbáljuk meg áttekinteni a ma már ismert, s többnyire elfogadott kísérletekkel, helyszíni mérésekkel több szerző által is igazolt hatásokat, ill. tendenciákat.



5.56. ábra

Csurgalékvízzel végzett szivárgási tényező vizsgálatok három különböző iszapos agyagminta esetén

(FINNO - SCHUBERT, 1986.)



5.57. ábra

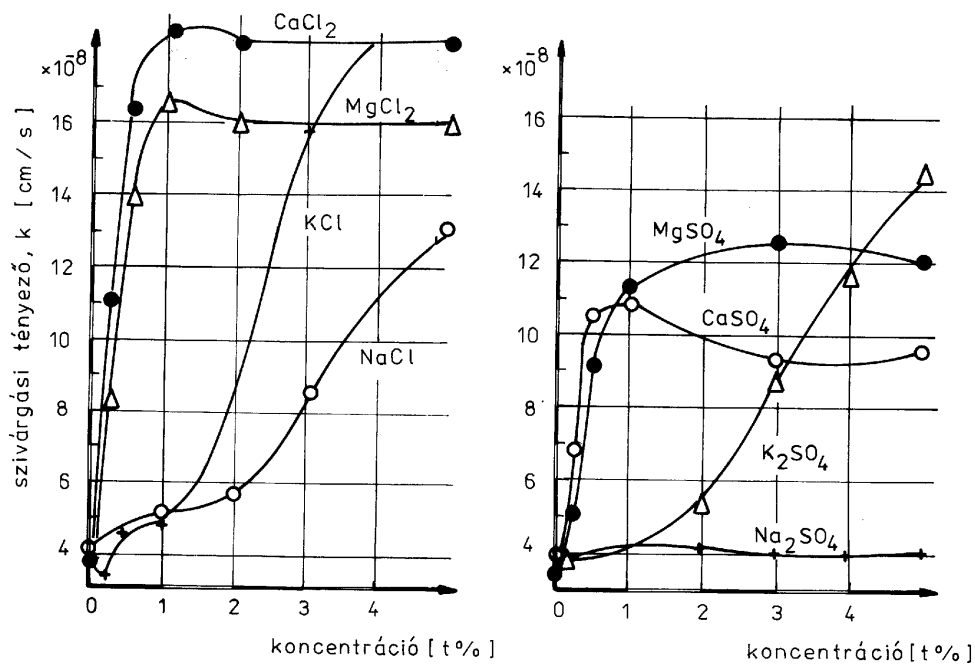
A szivárgási tényező változása semleges szeretlen anyagot tartalmazó csurgalékvíz esetén (FANG - EVANS, 1986.)

#### 5.4.5.2.1. Szeretlen vegyületek hatása az agyagok szivárgási tényezőjének az értékére

A kőzetben lévő pórusfolyadékban a koncentráció megváltozása módosíthatja a szivárgási tényező értékét. Az erősen duzzadó kőzetek, mint pl. a bentonit az adszorbeált kation kicserélése következtében nagyobb permeabilitás változást mutatnak. Az agyagásványok felépítésénél láttuk, hogy a tetraéderez koordinációban a  $Si^{4+}$ -ot  $Al^{3+}$ , az oktaéderez helyen az  $Al^{3+}$ -ot az esetek többségében  $Mg^{2+}$  és  $Fe^{3+}$  helyettesíti. A helyettesítés által a rétegszerkezet egyensúlya felborul, benne negatív töltésfelesleg lesz, aminek a kiegyenlítése a rétegkomplexumok közötti térbe illeszkedő kationok által történik. A rétegkomplexumok egymáshoz való kötődésének erőssége nagymértékben függ attól, hogy a töltésfelesleg kiegyenlítődése egy vagy többértékű kationok révén megy-e végbe.

Az egyértékű kation töltés kiegyenlítődésnél (pl.  $Na^+$ ) az erősebb hidratáltság nagyobb rétegkomplexum-közi teret és így az agyagrészecskék jobb diszperzióját eredményezi, mint a kétértékű kation (pl.  $Ca^{2+}$ ), amelynek kisebb az első vízrétegre vonatkoztatott hidratációs sugara. Az agyagásványok kationaffinitása az iontöltés növekedésével nő. Mindamelllett az oldatban lévő kisebb töltésű ionoknak a nagy koncentrációja semlegesítheti a nagyobb töltésű ionok nagyobb helyettesítési energiáját. A kationcsere befolyásolja a kettős réteg vastagságát. Mindezek eredményeként a talajszerkezet megváltozik, térfogata változhat, repedések makropórusok jelenhetnek meg.

ALTHER és szerzőtársai (1985.) a bentonit szivárgási tényezőjének több mint egy nagyságrendnyi növekedéséről számolnak be a nátrium-, kálium- és kalciumklorid koncentrációjának a növekedésével (5.58. ábra). Hasonló eredményt kaptak szulfát oldatokkal is. Az egy pozitív töltésű kationok esetében a koncentráció növekedéssel közel lineáris volt a k-tényező növekedése, míg a két pozitív töltésű kationoknál a koncentráció kismértékű változása után a folyamat stabilizálódni látszik. A GOUY-CHAPMAN elmélet szerint a pórusfolyadék koncentrációjának növekedése a kettős réteg vastagságának a csökkenésével jár, ami viszont egy erősebben flokkulált szerkezetet eredményez.



5.58. ábra

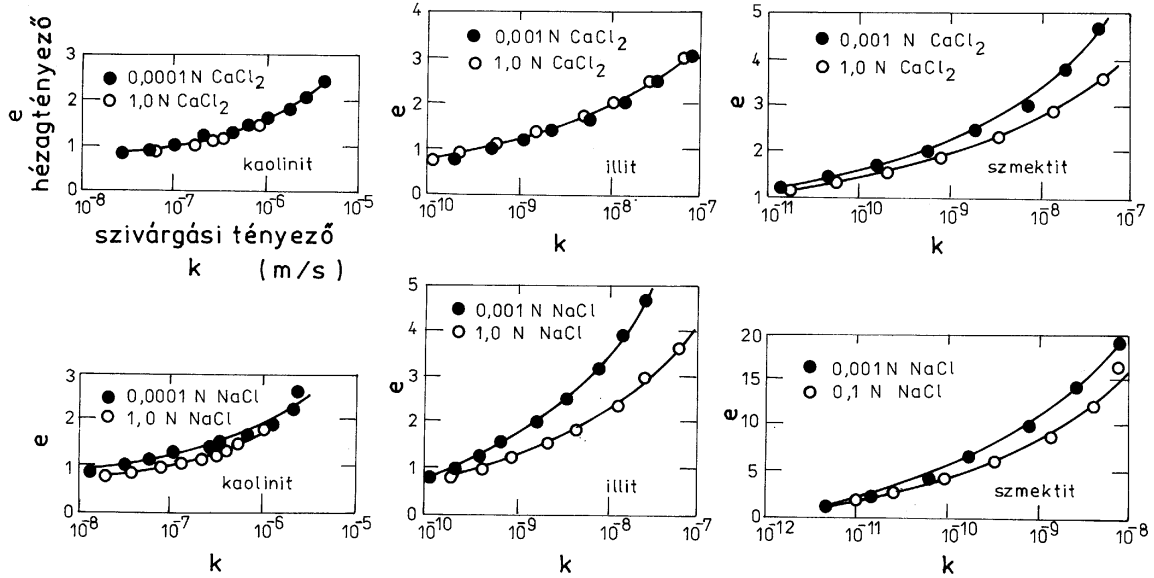
A különböző koncentrációjú és összetételű vizes sóoldatok hatása a bentonitminták szivárgási tényezőjére (ALThER et al., 1985.)

Az iontöltés növekedés - ha a többi változó konstans - úgyszintén a kettős réteg vastagságának a csökkenését okozza. Így a kétértékű kationokat tartalmazó sóoldat, azonos koncentráció esetén, szintén erősebben flokkulált szerkezetet eredményez.

Az **5.59. ábra** (MESRI-OLSON, 1971.) az eddigiekkel teljes összhangban van, azonban rámutat az agyagásványok eltérő viselkedésére is. Az elektrolitkoncentráció növekedése itt is a szivárgási tényező növekedését eredményezte, azonban a változás kisebb volt kétértékű ( $\text{Ca}^{2+}$ ) kationoknál, mint az egyértékűeknél, és ugyancsak csökkenő tendenciát mutatott a szmektitől az illiten át a kaolinitig. Ezt a hatást MESRI-OLSON a következőkkel magyarázzák: a szmektitek esetén a diffúz kettős réteg valószínűleg kialakul az agyagrészecskék felszínén, de az illit és kaolinit esetén a hézagok olyan nagyok, hogy a diffúz kettős rétegek nem zárják le lényegesen a fő áramlási csatornákat. Így a pórusvíznek az elektrolitkoncentrációval összefüggő változása nem befolyásolja jelentős mértékben a szivárgási tényezőt.

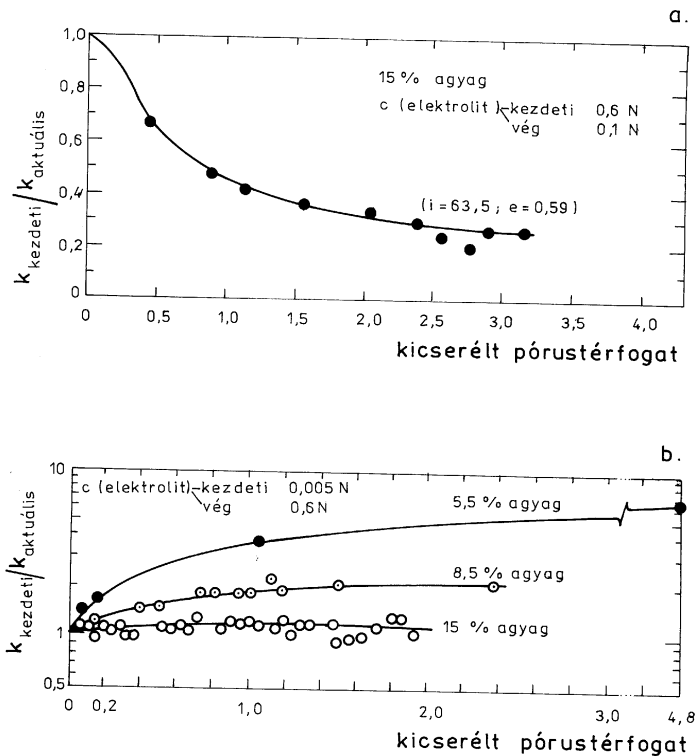
HARDCASTLE és MITCHELL (1974.) hasonló eredményekről számoltak be, és rámutattak, hogy az elektrolitkoncentrációnak a szivárgási tényezőre gyakorolt hatása *reverzibilis folyamat*. A **5.60. ábrán** az elektrolitkoncentráció csökkenésével (0,6 N  $\rightarrow$  0,1 N) mintegy ötödrészt csökkent a szivárgási tényező, majd ismét növelve a pórusfolyadék koncentrációját (0,005 N  $\rightarrow$  0,6 N) az agyagtartalomtól függően a k-tényező növekedése megközelítette a tízszeres értéket.

Így összhangban a modellel megállapítható, hogy a kétértékű ionokat tartalmazó sóoldatok hatása a permeabilitás megváltozására nagyobb mint az egyértékűeké. Különböző sóoldatokkal végzett vizsgálatok arra is rámutattak, hogy a szerkezet kialakulását befolyásolja még a hidratált ion mérete, valamint az anionok jellege is.



5.59. ábra

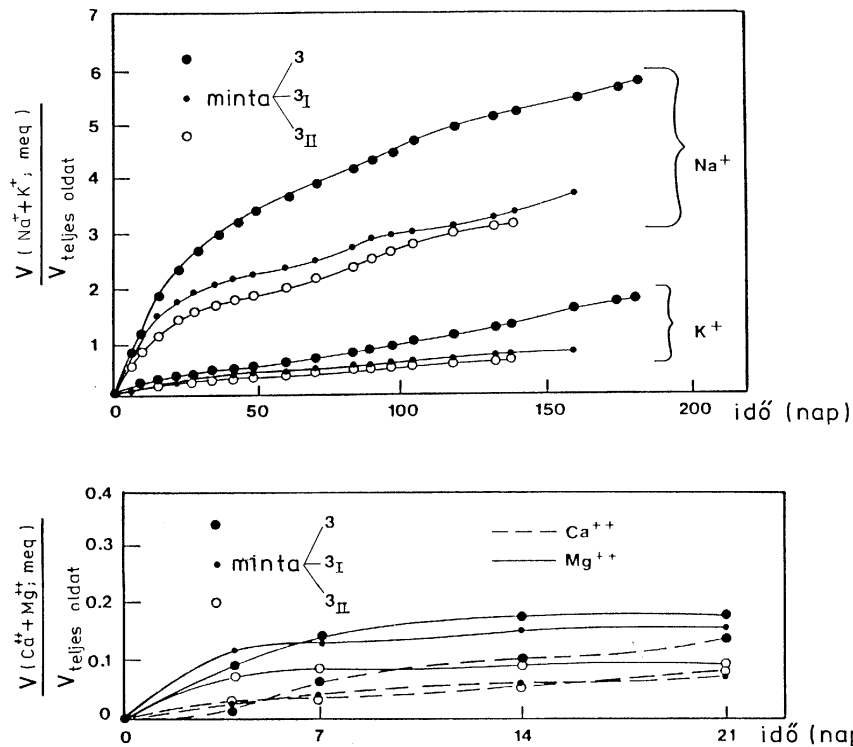
Különböző koncentrációjú és összetételű vizes sóoldatok hatása a szivárgási tényezőre háromféle agyagásvány esetén (MESRI - OLSON, 1971.)



5.60. ábra

Az elektrolitkoncentráció hatása a szivárgási tényezőre  
**a.** az agyag duzzadásának hatására fellépő csökkenés;  
**b.** a flokkulált szerkezet újbóli kialakulása következtében fellépő növekedés (HARDCASTLE - MITCHELL, 1974.)

YONG (1986.) uralkodóan kvarc, földpát és illit tartalmú zavartalan agyagmintáknál azt állapította meg, hogy desztillált vízzel átöblítve a mintát, mintegy harmincszor nagyobb arányú volt az egyértékű kationok ( $\text{Na}^+$ ;  $\text{K}^+$ ) kioldása (eltávolítása) a kétértékűeknél ( $\text{Ca}^{2+}$ ;  $\text{Mg}^{2+}$ ). Figyelembe véve az egy- és kétértékű kationok (5.61. ábra) kezdeti koncentrációját, a kétértékű kationoknak kevesebb mint 3%-a oldódott ki, szemben az egyértékű kationoknál tapasztalt legalább 10%-os kioldódással. Rámutatott, hogy azok a talajok, amelyeknél a kis permeabilitás elsősorban az egyértékű kationok jelenlétének tulajdonítható (pl. Na-montmorillonit), nagyobb hajlandóságot mutatnak permeabilitásuk megváltoztatására többértékű kationnal történő helyettesítés esetén.



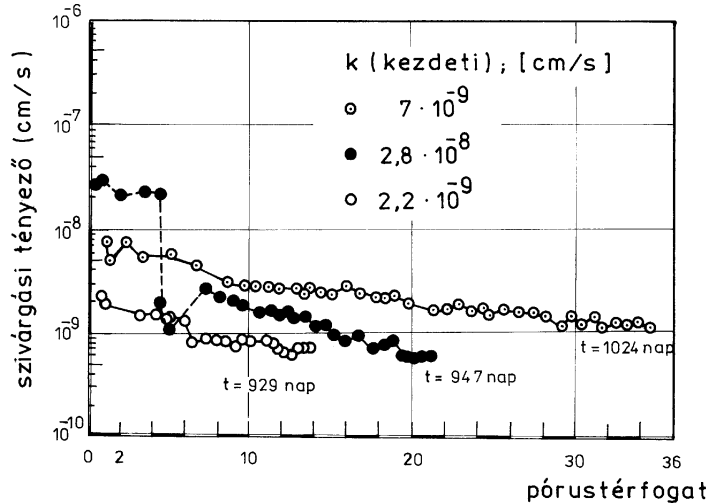
5.61. ábra

Egy- és kétértékű kationok desztillált vízzel történő kilúgzásának görbéi kvarc+illit+földpát tartalmú zavartalan agyagminták esetén (YONG, 1986.)

### Szervetlen savak hatása

A szervetlen sav koncentrációjának a növekedése a szerkezet flokkulációját válthatja ki, gátolja a duzzadást és nő a közetalkotó ásványok kioldódása. A kaolinit mutatja a legkisebb oldhatóságot, a montmorillonit a legnagyobbat. Koncentrált savak az agyagok szivárgási tényezőjének több nagyságrendnyi növekedését okozhatják. Néhány sav, mint pl. a HF és a foszforsav különösen agresszív, de a hatás szempontjából fontos a savak koncentrációja, a rendelkezésre álló reakcióidő, a folyadék-szilárd fázis aránya, az agyagásványok típusa és a hőmérséklet. D'APPOLONIA (1980.) 5%-os sósavat használva bentonitoknál a szivárgási tényező mintegy egy nagyságrendnyi növekedését mérte. Karbonáttartalmú tömörített agyagokat vizsgálva (GORDON-FOREST, 1981.) és 1,5-ös pH-jú kénsavat használva nem tapasztaltak változást a szivárgási tényező értékében, ugyanakkor kalciumsulfát kicsapódást észleltek.

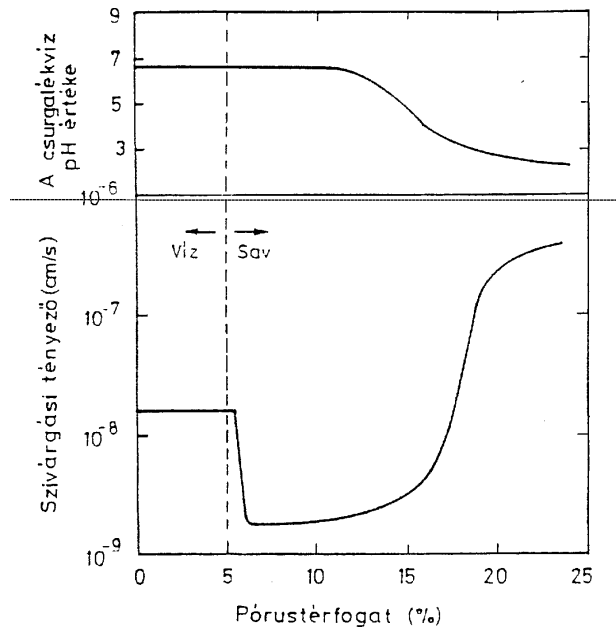
Urándúsítómű zagylerakójának savas (pH=1,2-2,0) csurgalékvizével végzett vizsgálatoknál (PETERSON-GEE, 1985.) a közel 3 évig tartó kísérleti időtartam alatt a szivárgási tényező értékének a csökkenését mérték, amit szintén a keletkezett csapadék póruseltömő hatásának tulajdonítottak (5.62. ábra).



5.62. ábra

Savas csurgalékvíz (urándúsítómű zagytároló, pH=2) hatása az agyagszigetelő vízzáróságára (PETERSON - GEE, 1985.)

Hasonlóképpen csapadékképződésre utal az 5.63. ábra (DANIEL, 1987.) is. Mint látható először csökken a k értéke, amit a sav és agyag reakciója során képződő csapadék okoz, ami eltömte a pórusokat a kísérlet kezdeti szakaszán. Friss savfölösleg hatására a csapadék feloldódik, kialakulnak a "csatornák", k értéke növekedni kezd.



5.63. ábra

Szervetlen sav hatása a szivárgási tényező értékére (DANIEL, 1987.)



Az egyes elemek kioldódására REUTER (1988.) kísérletei alapján kaphatunk információt. 5%-os szervesetlen savat, és pedig sósav-kénsav-salétromsav 1/3-1/3 térf. % arányú keverékét (pH=1,0) használva vizsgálta a szivárgási tényező változását és az ionkilúgozás mértékét (A), amit a következőképpen definiált:

$$A = \frac{(c - c_0) \cdot \Delta Q \cdot 100}{c_1} \quad (5.12.)$$

ahol:

- A : a  $c_1$  koncentrációra vonatkoztatott kilúgozási hányad,
- c : az átszivárgó folyadék ionkoncentrációja  $\Delta t$  idő múlva,
- $c_0$  : a kísérleti folyadék kezdeti ionkoncentrációja,
- $\Delta Q$  :  $\Delta t$  idő alatt átszivárgott folyadék,
- $c_1$  : a vizsgált közetminta kiindulási ionkoncentrációja.
- ha  $c/c_0 < 1,0$  feldúsulás
- $c/c_0 > 1,0$  kilúgozás

Az **5.64. ábrán** egy uralkodóan kaolinit (34%) - illit (3%) tartalmú, az **5.65. ábrán** pedig klorit (31%) tartalmú agyaggal végzett kísérletek eredményei láthatók. Jól látszik, hogy szinte azonos *ionkilúgozási sorrend* adódott, és az *ionkilúgozás és a szivárgási tényező változása között szoros kapcsolat van*.

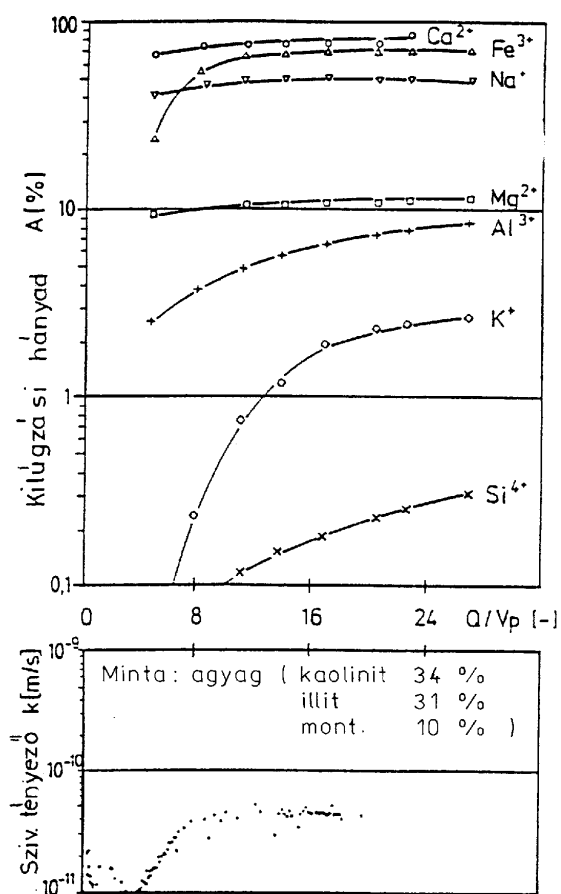
### ***Szervesetlen bázisok hatása***

Valójában a szervesetlen bázisok hatása még alig ismert, LENTZ és szerzőtársai (1985.) 9, 11 és 13 pH értékű NaOH hatását vizsgálták. 9 és 11 pH értéknél csak jelentéktelen változást, míg 13-as pH-nál körülbelül egy nagyságrendnyi szivárgási tényező csökkenést tapasztaltak, azonban a későbbi vizsgálatok során kiderült, hogy ez a változás is inkább annak volt a következménye, hogy a kísérlethez használt csapvíz mintegy 300 mg/l  $\text{CaCO}_3$ -at tartalmazott (**5.66. ábra**). A Mg-montmorillonitnál tapasztalt nagyobb mértékű csökkenést a kétértékű  $\text{Mg}^{2+}$ -kationnak egyértékű  $\text{Na}^+$ -ionnal való helyettesítésének tulajdonították.

Az **5.67. ábra** Na- és Ca-bentonitok vízádszorpciós kapacitását mutatja a pH függvényében (HERMANN et al., 1987.). Mint látható, jelentős változást csak a Na-bentonitok mutattak a 8-11-es pH tartományban. Az adszorpciós kapacitás növekedése ill. csökkenése a kettős réteg vastagságának a növekedését, ill. csökkenését is jelenti, s ennek megfelelően csökkenhet vagy növekedhet a szivárgási tényező értéke, mint ahogy azt a korábbiakban már láttuk.

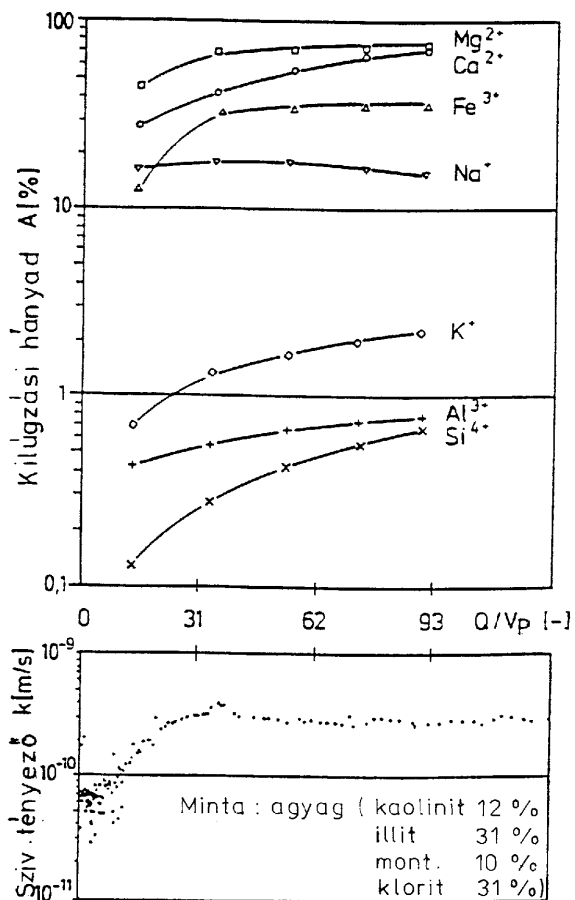
Erős bázisok a savakhoz hasonlóan oldani is képesek néhány közetalkotó ásványt, azonban ezen folyamatok tisztázása még további vizsgálatokat igényel.

A szervesetlen vegyületeknek a talaj (szigetelőréteg) szerkezetére és a szivárgási tényezőre gyakorolt hatását foglalja össze az **5.20. táblázat** (MÁRK, 1992.).



5.64. ábra

5%-os szervesetlen sav hatására bekövetkező ionkilúgzás (1.) (REUTER, 1988.)



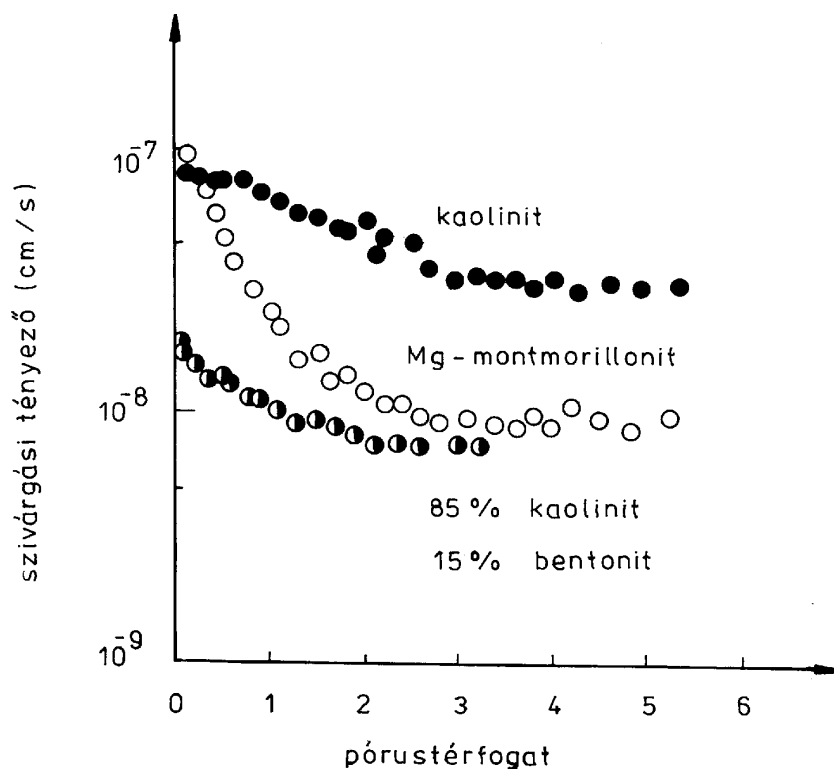
5.65. ábra

5%-os szervesetlen sav hatására bekövetkező ionkilúgzás (2.) (REUTER, 1988.)

5.20. táblázat

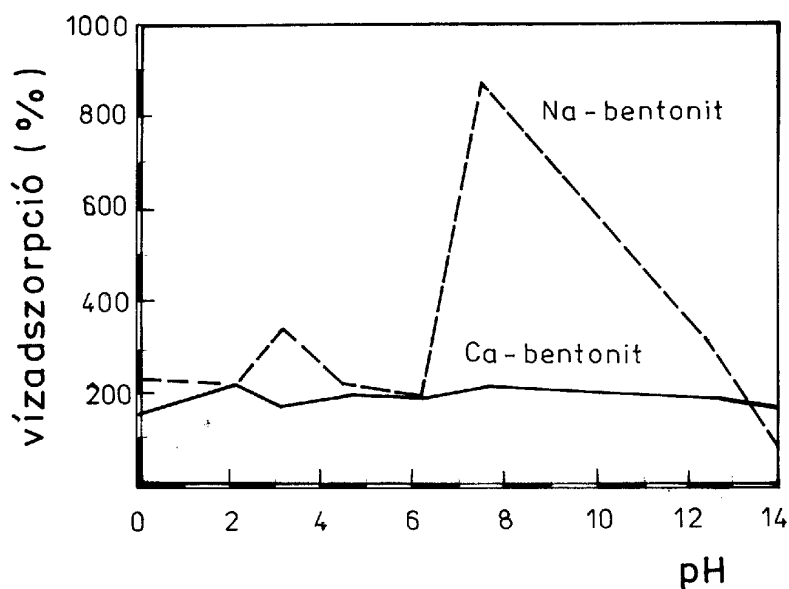
| <i>A szervesetlen elektrolitok egyes paramétereinek növekedtével a talajszerkezetben és a szivárgási tényező értékének változásában várható változások (MÁRK, 1991.)</i> |                       |                |               |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|---------------|--------------------|
| Paraméter                                                                                                                                                                | Kettősréteg vastagság | Talajszerkezet |               | Szivárgási tényező |
|                                                                                                                                                                          |                       | diszperzióra   | flokkulációra |                    |
|                                                                                                                                                                          |                       | való hajlam    |               |                    |
| dielektromos állandó (relatív permittivitás)                                                                                                                             | N                     | N              | CS            | CS                 |
| elektrolitkoncentráció                                                                                                                                                   | CS                    | CS             | N             | N                  |
| iontöltés                                                                                                                                                                | CS                    | CS             | N             | N                  |
| pH                                                                                                                                                                       | N                     | N              | CS            | CS                 |
| ionméret                                                                                                                                                                 | N                     | N              | CS            | CS                 |
| hőmérséklet                                                                                                                                                              | N                     | N              | CS            | CS                 |

N: növekedés; CS: csökkenés



5.66. ábra

NaOH (pH=13) hatása az agyagok szivárgási tényezőjére  
(LENTZ et al., 1985.)



5.67. ábra

A bentonit vízadszorpciója a pH függvényében  
(HERMANN et al., 1987.)

## 5.4.5.2.2. Szerves vegyületek hatása az agyagok szivárgási tényezőjének az értékére

A szerves vegyületek - különösen az oldószerek - mozgása az agyag szigetelőrétegekben különösen fontos, mivel számos szerves vegyület erősen toxikus az élővilágra. Ennek megfelelően a szerves vegyületeknek mind a természetes településű, mind a mesterségesen beépített szigetelőrétegek és a finom szemcsés talajok szivárgási tényezőjére gyakorolt hatását igen sokan vizsgálták. A vizsgálatok eredménye sokszor egymásnak ellentmondó, nehezen magyarázható eredményt szolgáltatott. Ez azonban nem meglepő, ha figyelembe vesszük, hogy több mint 2 millió szerves vegyület ismert, s a kísérletekhez változó összetételű és koncentrációjú (az igen híg oldatoktól a tiszta vegyületig) porusfolyadékot használtak.

A kísérletekhez többnyire használt szerves vegyületek jellemzőit az **5.21. táblázat**, a kísérletek jellemző adatait és eredményeit pedig az **5.22. táblázat** foglalja össze.

5.21. táblázat

| <i>A szivárgási tényező meghatározásához leggyakrabban használt szerves vegyületek<br/>(MITCHELL-MADSEN, 1987.)</i> |                        |                                               |                         |                                       |                         |                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Vegyület csoport                                                                                                    | Vegyület               | Képlete                                       | Oldhatóság vízben (g/l) | Dielektromos állandó                  | Dipólusmomentum (Debye) | Sűrűség (g/cm <sup>3</sup> ) |
| Szénhidrogének és származékaik                                                                                      | heptán                 | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>                | < 0,3                   | 1,9                                   | 0                       | 0,684                        |
|                                                                                                                     | ciklohexán             | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>                | < 0,3                   | 2,0                                   | 0                       | 0,779                        |
|                                                                                                                     | benzol                 | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>                 | 0,7                     | 2,3                                   | 0                       | 0,879                        |
|                                                                                                                     | xilol (dimetil-benzol) | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>                | < 0,3                   | 2,27 para-<br>2,37 meta-<br>2,57 orto | 0<br>0,62               | 0,880                        |
|                                                                                                                     | tetraklór-metán        | CCl <sub>4</sub>                              | 0,8                     | 2,2                                   | 0                       | 1,594                        |
|                                                                                                                     | 1,1,2-triklór-etilén   | C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>               | 1                       | 3,4                                   | 0                       | 1,466                        |
|                                                                                                                     | nitro-benzol           | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub> | 2                       | 35,7                                  | 4,22                    | 1,204                        |
| Alkoholok és fenolok                                                                                                | metanol                | CH <sub>3</sub> OH                            | k. elegy                | 33,6                                  | 1,70                    | 0,791                        |
|                                                                                                                     | etanol                 | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH              | k. elegy                | 25,0                                  | 1,69                    | 0,789                        |
|                                                                                                                     | etilénglikol           | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>  | k. elegy                | 37,7                                  | 2,28                    | 1,119                        |
|                                                                                                                     | fenol                  | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH              | 36                      | 13,1                                  | 1,45                    | 1,072                        |
| Éterek                                                                                                              | 1,4 dioxén             | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>  | k. elegy                | 2,2                                   | 0                       | 1,034                        |
| Aldehidek és ketonok                                                                                                | acetón                 | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O               | k. elegy                | 21,5                                  | 2,9                     | 0,790                        |
| Szerves savak                                                                                                       | ecetsav                | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>  | k. elegy                | 6,15                                  | 1,74                    | 1,049                        |
| Szerves bázisok                                                                                                     | anilin                 | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub> | 36                      | 6,89                                  | 1,55                    | 1,020                        |

k. elegy: korlátlanul elegyedik







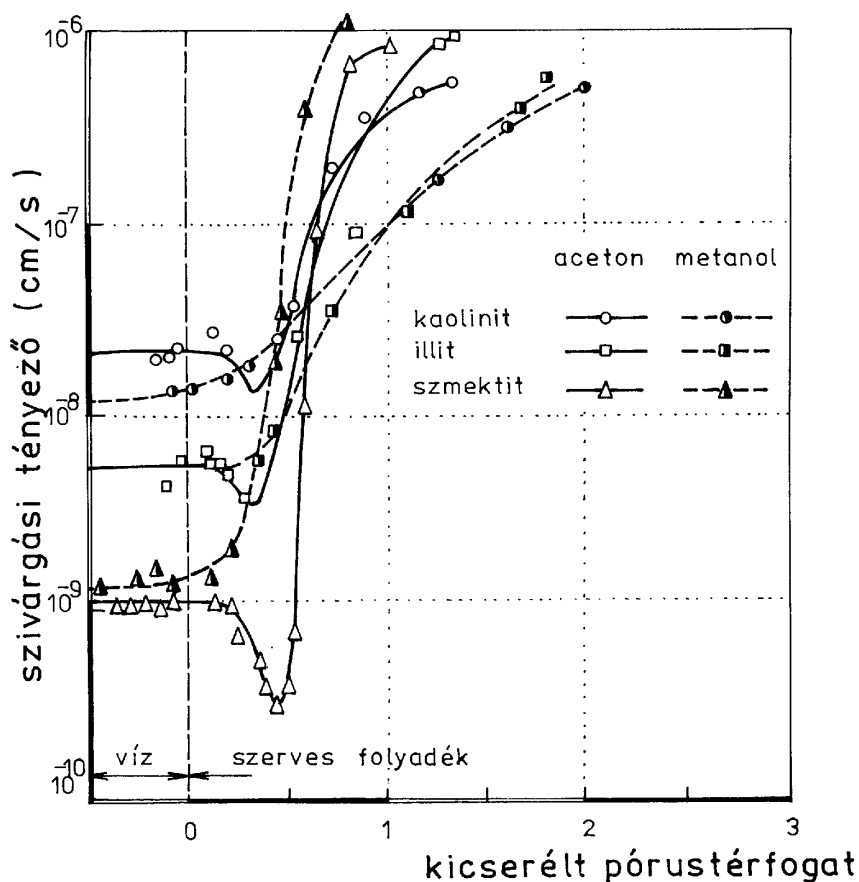
A szerves vegyületek és az agyagos képződmények között lehetséges kölcsönhatások az alábbiak lehetnek:

- adszorpció,
- beépülés,
- kationcsere.

A szivárgási tényezőre gyakorolt hatást tekintve az *adszorpciónak* van a legnagyobb szerepe. A kettős rétegben helyet foglaló vízmolekulák helyettesíthetnek szerves molekulákkal, ugyanakkor a szerves molekulák egy része jobban, más része kevésbé, de szolvatál kationokat. A kettős réteg kationjai és a szolvatált molekulák közti kötések erőssége változó (LAGALY, 1984.). A vízhez képest kis dielektromos állandójú szerves komponensek többsége képes arra, hogy behatárolja a duzzadást, vagy előidézheti a mozgásukban nem korlátozott részecskék flokkulációját.

A szerves vegyületek beépülésére elméleti vizsgálatok vannak, de a szivárgási tényezőre gyakorolt hatás igazolására érdemleges kísérleti adatok nincsenek.

ANDERSON (1982.) volt az első egyike, aki felhívta a kutatók figyelmét a szerves vegyületek hatásának a fontosságára (5.68. ábra). Az acetonnál tapasztalt kezdeti csökkenést annak a metanolnál nagyobb dipólusmomentumával (2,9 ill. 1,70 ) magyarázta.

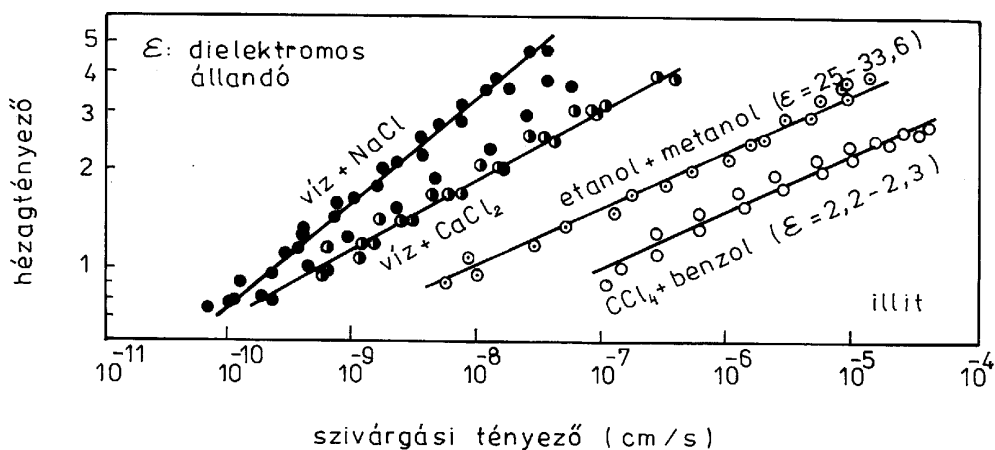


5.68. ábra

Szerves vegyületek hatása az agyakok szivárgási tényezőjére  
(ANDERSON, 1982.)

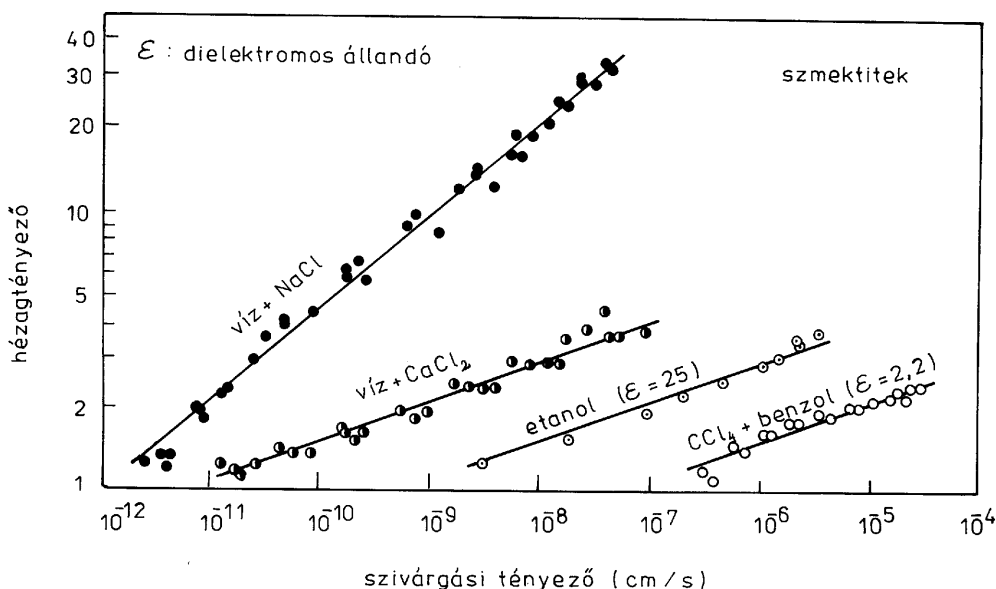


Az 5.69.-5.72. ábrák különböző szerves és szervetlen vegyületek hatására bekövetkező szivárgási tényező változást szemléltetik (MESRI-OLSON, 1971.; FERNANDEZ-QUIGLEY, 1985.), feltüntetve az egyes vegyületek vagy vegyületcsoportok dielektromos állandóját. Mint azt az 5.49. ábrán láttuk, a dielektromos állandó ( $\epsilon$ ) növekedésével a diffúziós réteg vastagsága jelentősen lecsökken. A csökkenés nemcsak a "folyadék-csatornák" növekedését, hanem, mint tudjuk, az agyagszemcsék flokkulációját is okozza, aminek eredményeként a kolloid méretű részecskék homokszemcse méretű pelyhekké állnak össze, így még nagyobb pórusteret hozva létre. Eközben az agyag zsugorodik, s hatására a szivárgási tényező értéke nagyságrendekkel is növekedhet, mint azt az 5.72. ábra is mutatja.



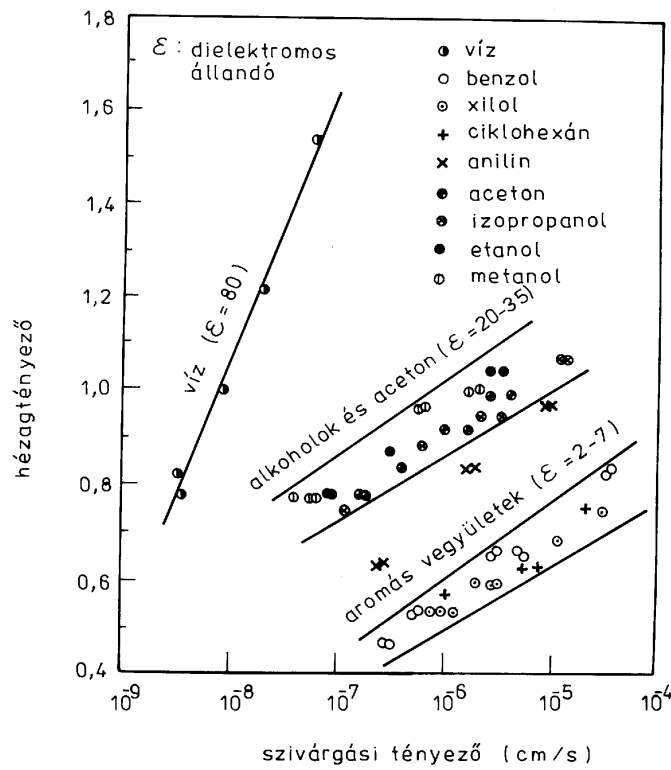
5.69. ábra

A szivárgási tényező változása szervetlen és szerves vegyületek hatására (1.) (MESRI - OLSON, 1971.)



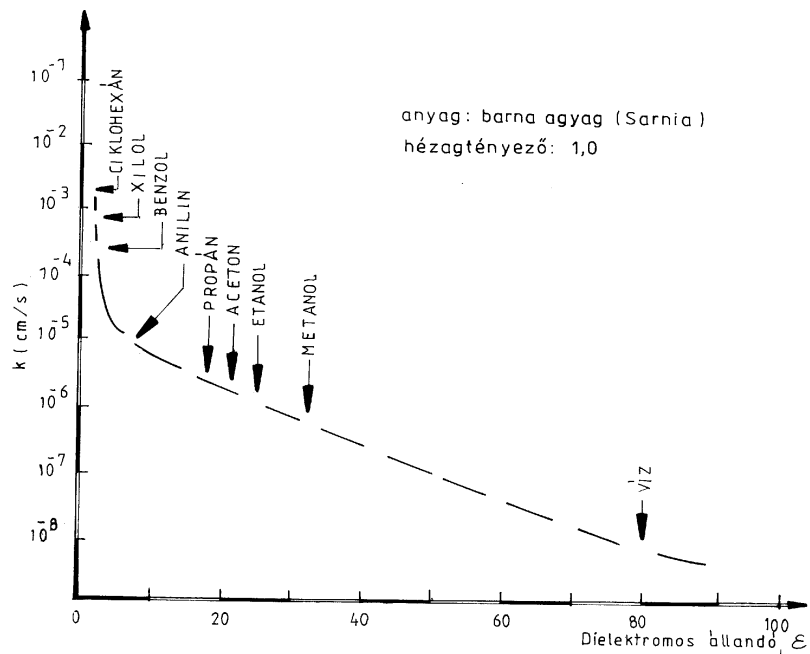
5.70. ábra

A szivárgási tényező változása szervetlen és szerves vegyületek hatására (2.) (MESRI - OLSON, 1971.)



5.71. ábra

A szivárgási tényező és a hézagtényező kapcsolata különböző szerves pórusfolyadékok esetén (FERNANDEZ - QUIGLEY, 1985.)



5.72. ábra

A szivárgási tényező és a dielektromos állandó kapcsolata szerves oldószerek és víz esetén (FERNANDEZ - QUIGLEY, 1985.)

A fentiekhez teljesen hasonló eredményre jutottak BUDHU és szerzőtársai (1990.) különböző dielektromos állandójú pórusfolyadékkal végezve a kísérleteket. A legérzékenyebbek a montmorillonit tartalmú minták voltak, míg kaolinit esetében változást alig észleltek.

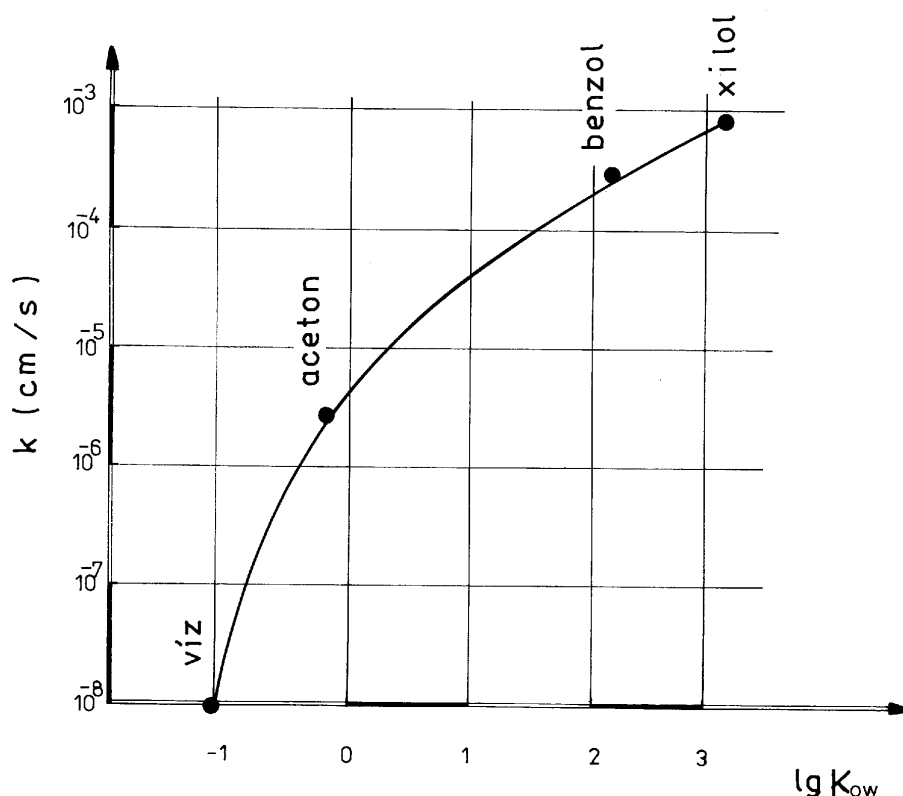
Az 5.69-5.72. ábrákon feltüntetett mérési eredmények alapján azt mondhatjuk, hogy a *talajok szivárgási tényezője az apoláris folyadékokra a legnagyobb, a polárisokra - amelyeknek kisebb a dielektromos állandója - kisebb, és a legkisebb értéket a víz esetén kapjuk, amely erősen poláris, így nagy a dielektromos állandó értéke.*

A fenti jelenséget azzal magyarázhatjuk, hogy az agyagrészecskék negatív felületi töltése miatt lehetőség van az adszorpcióra. A kis dielektromos állandójú pórusfolyadékok (alkohol, benzol) esetén a kationok erősen kötődnek a részecskék felületén, így kicsi a lehetősége az áramlási csatornák elzáródásának. Apoláris folyadékoknál csekély az adszorpciós hajlam, így a szivárgási út csaknem teljesen nyitott. Ez magyarázza azt, hogy pl. benzol és CCl<sub>4</sub> esetében viszonylag nagy a szivárgási tényező. Poláris közeg jelenlétében a folyadék vagy a kationok révén, vagy - ami még valószínűbb - hidrogénkötések segítségével kötődik meg a felületen, az áramlási csatornák nagy részét valószínűleg elzárja, aminek következtében erőteljesen csökken a szivárgási tényező. *Minél kevésbé poláris folyadék kerül alkalmazásra, annál kisebb lehetőség adódik a felületi megkötődésre (kisebb a kettős réteg vastagsága), s így az áramlási útvonal csaknem teljesen nyitott marad.* Azt is figyelembe kell azonban venni, hogy a kettős réteg vastagságának a változása, növekedése az uralkodó agyagásvány fajtától függően relatíve nem azonos mértékben hat a szivárgási tényező megváltozására. A legjelentősebb a változás a montmorillonit esetében, az illitnél és különösen a kaolinitnél azonban a hézagterek nagyobbak, így az áramlási csatornák nem záródnak el teljesen. (v.ö. pl. 5.59. ábrán). A kőzetek eltérő viselkedését közvetve jól jellemezhetjük a már említett SKEMPTON-féle aktivitással is, mint azt az 5.55. ábrán is láthatjuk.

Másik értelmezés szerint a szivárgási tényező szerves oldószerek esetén a szerves folyadék *hidrofób*, ill. *hidrofil sajátságának* a függvénye (MITCHELL-MADSEN, 1987.). A hidrofób vegyületek átfolyása - értelmezésük szerint - a telített kőzetekben a repedéseken, makropórusokon keresztül történik, míg a víz a mini - és mikropórusokban marad. A hidrofil vegyületek ellenben kiszoríthatják a vizet a legkisebb pórusokból is, elősegítve a flokkulációt. A hidrofil-hidrofób tulajdonságok jobb értelmezéséhez mint már láttuk, bevezették az adott szerves oldószer oktanol és víz közötti  $k_{ow}$  megoszlási hányadosát. Minél nagyobb az adott szerves oldószerre  $k_{ow}$  értéke, annál kisebb a szivárgási tényezője, ill. minél hidrofílebb karakterű a szerves folyadék ( $k_{ow}$  kicsi), annál gyorsabban hatol át az agyag aggregátumai között kialakult vizes régió (BERECZ, 1991.). Az **5.73. ábrán** a FERNANDEZ-QUIGLEY által mért és az 5.72. ábrán feltüntetett szivárgási tényező értékek szerepelnek a  $k_{ow}$  függvényében. Mint látható, mérési eredmények az előbbi megállapítást nem támasztják alá.

Mint a szerves vegyületeknél, itt is igaz, hogy a kőzet tulajdonságai is jelentős szerepet játszanak, mint azt az **5.55. ábrán** láttuk, ahol a relatív szivárgási tényező változása látható a SKEMPTON-féle aktivitás függvényében.

A *szerves savak* kevésbé oldják az agyagásványokat, mint a szervesetlenek. Feloldják viszont a kőzetekben található karbonátokat és a vas-oxidokat, miközben a pórusokban sók csapódnak ki, eltömve azokat. Nagy mennyiségű karbonát, ill. vas-oxid kioldódás azonban a szivárgási tényező növekedését is eredményezheti.



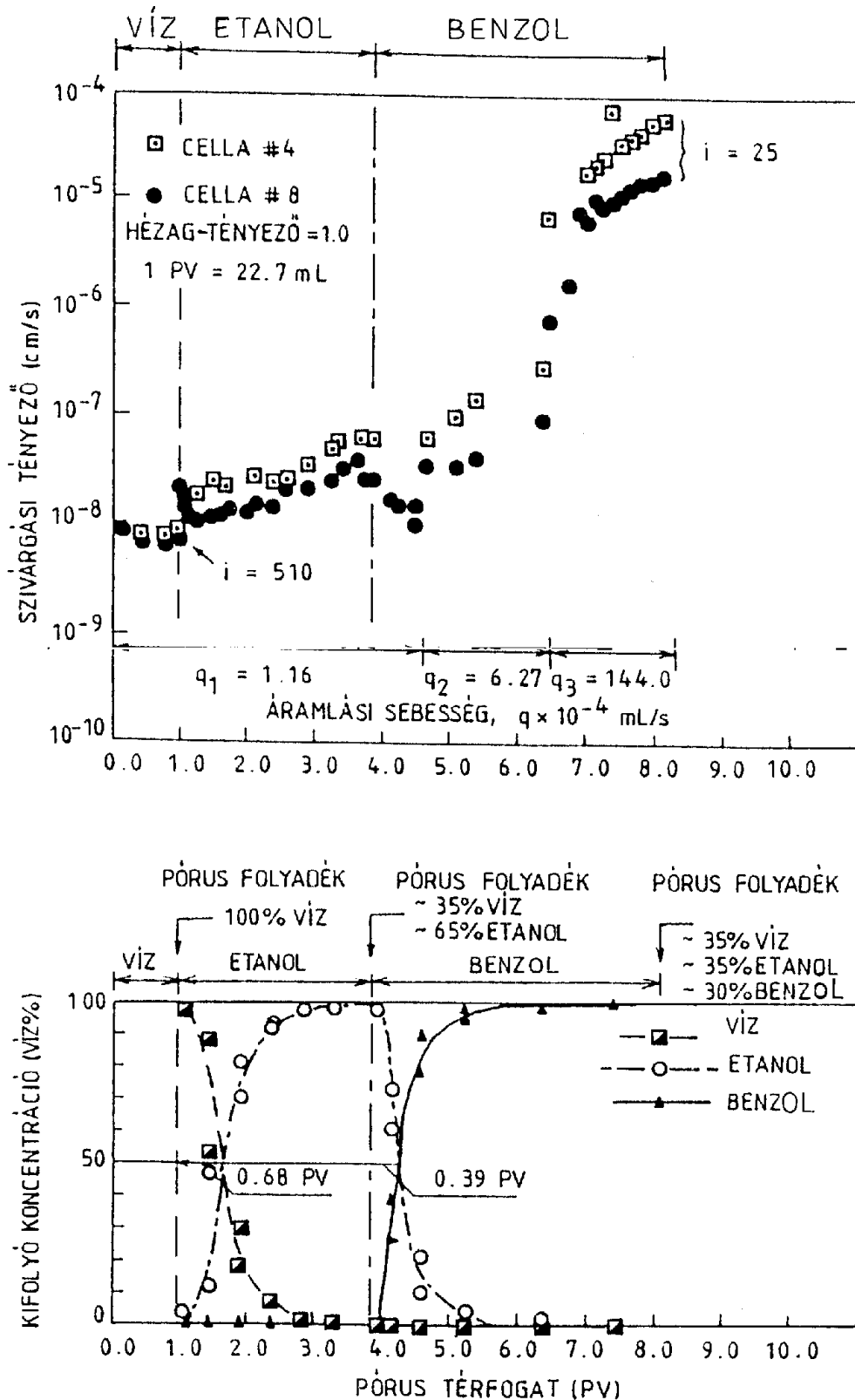
5.73. ábra

A szivárgási tényező változása a szerves oldószer oktanol és víz közötti megoszlási hányadosának függvényében

A gyenge szerves bázisok nincsenek hatással az agyagos kőzetekre, az erős bázisok hatására viszont kevés adat áll rendelkezésre. A szerves bázisok és a talaj közötti kölcsönhatás ismert, néhány kivételtől eltekintve azonban a folyamat reverzibilis, ha ismét vízzel öblítődik át a kőzet.

A vízben jól oldódó szerves vegyületek mint az *alkoholok*, a *ketonok*, a *fenolok* nincsenek jelentős hatással a szivárgási tényezőre, ha a koncentrációjuk 75-80% alatt marad.

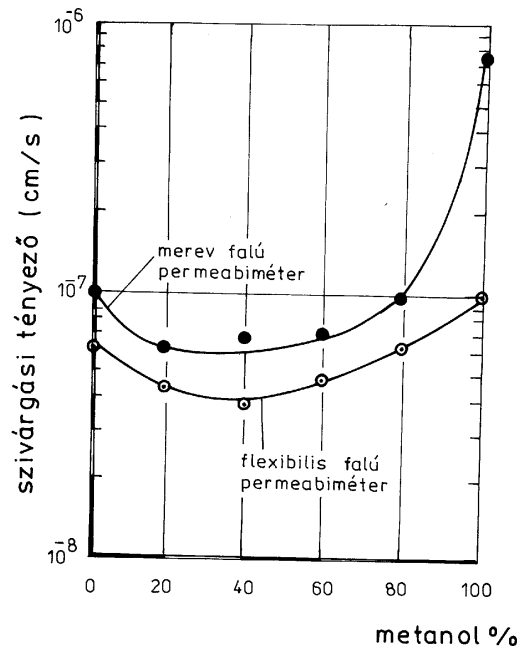
Igen nagy a jelentősége az olyan vegyületeknek, amelyek vízben is és aromás szénhidrogénekben is egyaránt oldódnak (LONSTÁK, 1991.). Mivel az aromás vegyületek hidrofóbok, így a már elmondottak értelmében nincsenek jelentős hatással a szivárgási tényezőre. Abban az esetben azonban, amikor először pl. mind a vízben mind a szénhidrogénben oldódó alkohol jut előbb a kőzet pórusaiba és abból képes kiszorítani a vizet, az utána érkező aromás szénhidrogén már bekerülhet a kisebb pórusokba is az alkohol kiszorításával. Egy ilyen vizsgálat eredményét mutatja be az **5.74. ábra** (FERNANDEZ-QUIGLEY, 1985.). Mint látható, az alkohol hatására mintegy egy nagyságrenddel változott a szivárgási tényező. Ezt követően a benzol 2,5 pórusterfogatnyi mennyiségének hozzáadása után ugrásszerűen megnőtt  $k$  értéke, s abban a pontban, ahol a mintából eltávozó folyadék 100% benzol volt, a szivárgási tényező négy nagyságrenddel haladta meg a kezdeti értéket.



5.74. ábra

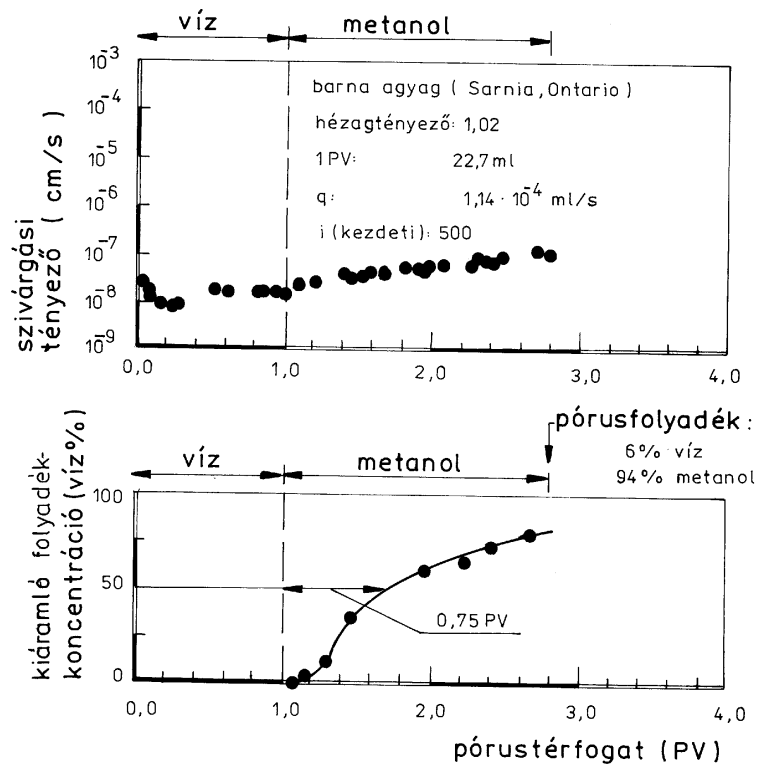
Tömörített agyag szivárgási tényező értékének a változása víz+etanol+benzol pórusfolyadék esetén

(FERNANDEZ - QUIGLEY, 1985.)



5.75. ábra

Tömörített kaolinit minta szivárgási tényezőjének a változása különböző koncentrációjú metanol-víz keverék hatására (BOWDERS - DANIEL, 1987.)



5.76. ábra

Tömörített agyag szivárgási tényező értékének a változása víz-metanol pórusfolyadék esetén (FERNANDEZ - QUIGLEY, 1985.)

A hulladéklerakók kilúgozódása során nagy valószínűséggel többféle vegyszer jut egyidejűleg a szigetelt rétegbe. Sajnos, az ilyen keverékeknek a szivárgási tényezőre gyakorolt hatásáról még keveset tudunk, s nem is valószínű, hogy erre vonatkozóan hamarosan általános érvényű következtetéseket tehetünk.

Mindamellet az utóbbi időben biztató eredmények születtek a szigetelőréteg és a csurgalékvíz kompatibilitását befolyásoló paraméterek egyidejű figyelembevételére. Biztatónak látszik a MANASSERO és SHACKELFORD (1994.) által javasolt módszer. Szerintük a szigetelőrétegnek egy adott vegyülettel szembeni alkalmasságát, ellenállóképességét az ún. *kompatibilitási index*-szel ( $I_c$ ) jellemezhetjük. Az  $I_c$  meghatározása a következő összefüggés alapján történik (MANASSERO, 1995):

$$I_c = (10A)^{0,271} \times \left(\frac{80,4}{\varepsilon}\right)^{0,262} \times \left(\frac{10c}{c_s}\right)^{0,5} \times \left(\frac{6,329\rho}{\rho_v}\right)^{0,494} \quad (5.13.)$$

ahol:

A: a talaj SKEMPTON-féle aktivitása (értéke 0,1-7,0 között változik);

$\varepsilon$ : a dielektromos állandó (értéke 1-80,4 között változik);

$c/c_s$ : a relatív oldhatóság mértéke (0,1-1,0 közötti érték);

$\rho$ : a sűrűség (értéke általában 0,157-1,62 g/cm<sup>3</sup> között változik);

$\rho_v$ : a víz sűrűsége (az összefüggésben  $\rho_v = 1$  g/cm<sup>3</sup>).

Ha a szélső értékeket behelyettesítjük, akkor azt kapjuk, hogy

$$1 \leq I_c \leq 100 \quad (5.14.)$$

Eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy adott vegyülettel, csurgalékvízzel szemben a szigetelőréteg várhatóan ellenálló, azaz vízzáróságát megtartja, ha  $I_c < 25$ .

#### 5.4.5.3. *A szivárgási tényező meghatározáshoz javasolt kísérleti folyadékok*

Mint azt az előzőekben a részletes elemzés alapján láttuk, a szivárgási tényező várható változását igen nehéz előre megbecsülni. Ha lehetőség van rá (a csurgalékvíz összetétele ismert, vagy jól becsülhető) akkor *a kísérleteket célszerű a valós viszonyoknak megfelelő összetételű kísérleti folyadékkal végezni*. Amennyiben erre lehetőség nincs és tapasztalati értékek nem állnak rendelkezésre, úgy a következő kísérleti folyadékokkal célszerű a vizsgálatokat végrehajtani:

- 5%-os szervetlen sav; pH=1,0, (sósav+kénsav+salétromsav 33 térf. %-os keveréke),
- 5%-os szerves sav; pH=2,2 (ecetsav+propionsav 50 térf. %-os keveréke),
- fémsóoldat; pH=2,9, (1-1 g/l nikkell-klorid+réz-klorid+króm-klorid+cink-klorid),
- "szintetikus" csurgalékvíz; pH ≈ 4,5, (0,15 ml nátrium-acetát, 0,15 ml ecetsav, 0,05 ml glicin, 0,007 ml szalicilsav).

A vizsgálatok időtartamának olyan hosszúnak kell lennie, amíg a minta és a pórusfolyadék stabilis rendszert nem képez.

### 5.5. A minőségbiztosítással kapcsolatos geotechnikai vizsgálatok

A lerakó csak abban az esetben tudja biztosítani az előírásoknak és elvárásoknak megfelelő biztonságot, ha nemcsak az előkutatás és tervezés során határozzuk meg a kialakításra és a beépíthető anyagokra vonatkozó kritériumokat, hanem azt a *kivitelezés során folyamatosan ellenőrizzük* is. A kivitelezés során a geotechnikai ellenőrző vizsgálatok alapvetően a következő területeken végzendők:

- a szigetelőréteg alá kerülő *nyers alapfelület*, vagy *depóniatükör* kialakításának az ellenőrzése,
- a *természetes anyagú épített szigetelőrétegek* ellenőrzése.

A kontrollvizsgálatok rendjének és mennyiségének az áttekintésénél elsősorban a nemzetközi gyakorlatra hagyatkozhatunk, ahol már vannak kifejezetten a hulladéklerakókra vonatkozó szabványok, előírások és ajánlások. A hazai szabványok elsősorban az építőipari földmunkára vagy a vízügyi létesítmények, földgátak földmunkáira, az ellenőrző vizsgálatok előírásai pedig többnyire csak a tömörségellenőrzésre vonatkoznak. Ezek általában megadják azt a beépített földmű  $m^3$  értéket, amelyből legalább egy mintát kell venni, valamint az elérendő tömörségi fokot. Nyilvánvaló, hogy a hulladéklerakóknál az ellenőrző vizsgálatoknak ennél összetettebbeknek és részletesebbeknek kell lenniük.

Az ellenőrző vizsgálatokat mindig több szinten kell elvégezni. Általában ajánlott, hogy az ellenőrzés az alábbi lépésekben történjen:

- a *kivitelező saját ellenőrző vizsgálatai*, amelyekkel tanúsítja, hogy a kivitelezést, a tervek előírásainak megfelelően végezte,
- *egy független intézmény ellenőrző vizsgálatai*,
- a *beruházó saját ellenőrző vizsgálatai* a földmunka átvételekor.

A saját és a független intézmény által végzett ellenőrző vizsgálatok mennyisége, gyakorisága általában megegyezik, és ezeket ugyanazon előírások alapján célszerű végezni. A beruházó ellenőrző vizsgálati bizonyos paramétereknél csak szűrőpróbaszerűek, bizonyos paramétereknél azonban vonatkozhatnak a földmunka egészére is.

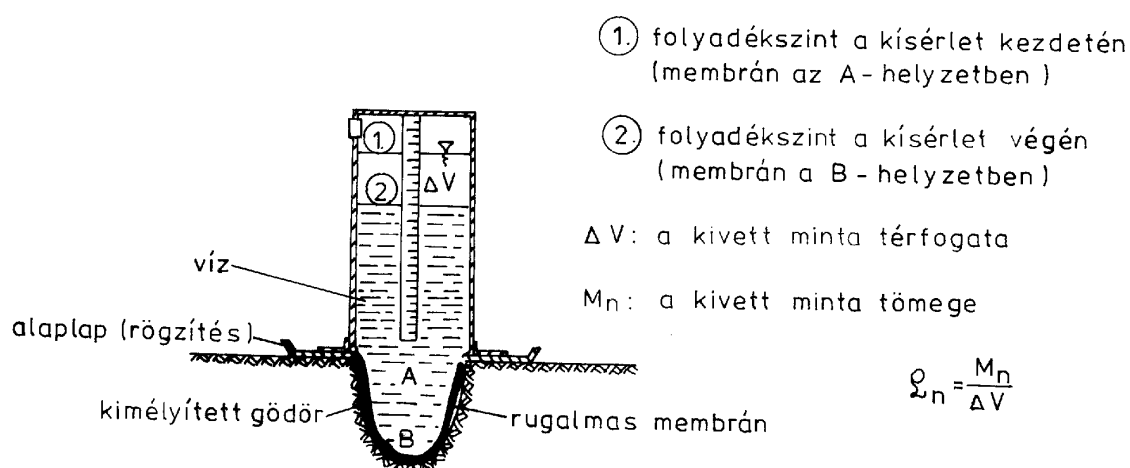
A *nyers alapfelület*, vagy *depóniatükör* ellenőrzése elsősorban a *teherbírás* szempontjából fontos, mert a szigetelőréteg alá nem kerülhet kisebb teherbírású, erősebben összenyomódó réteg, mint ami a természetes településű rétegekre jellemző. A depónia nyers alapfelülete ellenőrzésének az osztrák szabvány szerinti vizsgálati rendjét az **5.23. táblázat** szemlélteti. A táblázatban megtalálhatjuk a legalább egy vizsgálatot igénylő terület nagyságát. Az ellenőrző vizsgálatoknak ebben a fázisában a két legfontosabb paraméter az előírt tömörségi fok és az alakváltozási jellemző. Utóbbi esetben meg kell határozni az alapfelület beépítési rétegenkénti rugalmassági modulusát, amelynél a legfelső rétegnél el kell érni egy előírás szerinti minimális értéket, de ez az alatta lévő rétegnél sem lehet kisebb mint a legfelső rétegnél mért érték harmada.



5.23. táblázat

| <i>A depónia nyers alapfelületének ellenőrző vizsgálata az osztrák szabvány alapján</i> |                                                     |                                          |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Paraméter                                                                               | Jel                                                 | Legalább egy vizsgálatot igénylő terület | Minimális érték                                              |
| Szemcseméret-eloszlás                                                                   | -                                                   | 5000 m <sup>2</sup>                      | alkalmassági vizsgálat szerint                               |
| Tömörégi fok                                                                            | T <sub>ip</sub>                                     | 2000 m <sup>2</sup>                      | terv szerinti előírás alapján                                |
| Alakváltozási jellemző                                                                  | E <sub>v1</sub><br>E <sub>v2</sub> /E <sub>v1</sub> | 2500 m <sup>2</sup>                      | 30 MN/m <sup>2</sup><br>E <sub>v2</sub> /E <sub>v1</sub> ≤ 3 |
| Szivárgási tényező                                                                      | k                                                   | 10000 m <sup>2</sup>                     | ≤ 10 <sup>-6</sup> m/s<br>i = 10                             |
| Felületi egyenletesség                                                                  | -                                                   | terv szerint                             | ± 5 cm                                                       |

A tömörített *természetes anyagú szigetelőréteg* megfelelő beépítésének az ellenőrzésére vonatkozó vizsgálati rendet osztrák és német előírások, ill. ajánlások alapján az **5.24. táblázat** foglalja össze. Az ellenőrző vizsgálatoknál fontos, hogy azok kiterjedjenek az alkalmassági vizsgálatoknál meghatározott paraméterekre (szemeloszlás, víztartalom, konzisztencia jellemzők, szervesanyag-tartalom), valamint a beépítési jellemzőkre. A beépítési jellemzők közül a meghatározó paraméter a szivárgási tényező, amit a **5.26. ábrán** szereplő *cső-infiltrométerrel* célszerű meghatározni. A tömörségellenőrzés leggyorsabban a *radiometriás módszerrel* végezhető, azonban ennél pontosabb a közvetett térfogat- és a súlymérésen alapuló eljárás. A súlymérésre kiemelt minta térfogatát igen pontosan lehet meghatározni az ún. *közvetett térfogatmérési* eljárással, amit az **5.77. ábra** szemléltet. A mérés során egy gumimembránt préselünk a kiemelt lyuk falára, és a mérőhengerben a folyadékmenyiség változásával a kiemelt minta térfogatát mérjük.



5.77. ábra

A közvetett térfogatmérésen alapuló tömörségmérés

5.24. táblázat

| <i>Az aljzatszigetelő rétegek ellenőrző vizsgálatának rendje osztrák és német előírások, ill. ajánlások alapján</i> |                                   |                                          |                     |                    |                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|---------------------|--------------------|------------------------------------------------------------|
| Kísérlet                                                                                                            | Jel                               | Legalább egy vizsgálatot igénylő terület |                     |                    | Határérték                                                 |
|                                                                                                                     |                                   | ÖNORM                                    | GDA                 | DÜLLMANN           |                                                            |
| Szemeloszlás                                                                                                        |                                   | 300 m <sup>2</sup>                       | 1000 m <sup>2</sup> | 250 m <sup>3</sup> | d <sub>max</sub> = 63 (mm)                                 |
| Konzisztencia jellemzők, víztartalom a beépítés előtt                                                               | w                                 | 100 m <sup>3</sup>                       | n.a.                | 250 m <sup>3</sup> | alkalmassági vizsgálat szerint                             |
| Proctor-értékek: térfogatsűrűség, beépítési víztartalom                                                             | ρ <sub>d</sub><br>w <sub>be</sub> | 300 m <sup>3</sup>                       | 1000 m <sup>2</sup> | 30x30 m háló       | T <sub>rp</sub> alapján                                    |
| Szivárgási tényező                                                                                                  | k                                 | 2500 m <sup>2</sup>                      | 2000 m <sup>2</sup> | 45x45 m háló       | 10 <sup>-9</sup> – 5x10 <sup>-10</sup> m/s előírás szerint |
| Terítési rétegvastagság                                                                                             | d                                 | 500 m <sup>2</sup>                       | 500 m <sup>2</sup>  | 20x20 m háló       | a próbaterületnek megfelelően ± 1,5 cm                     |
| Lejtés                                                                                                              | i                                 | 500 m <sup>2</sup>                       | 500 m <sup>2</sup>  | n.a.               | terv szerint                                               |
| Keverés                                                                                                             |                                   | 500 m <sup>2</sup>                       | 1000 m <sup>2</sup> | n.a.               | az alkalmassági vizsgálat módszere szerint                 |
| Szervesanyag tartalom                                                                                               | SZ                                | 600 m <sup>3</sup>                       | 1000 m <sup>2</sup> | n.a.               | alkalmassági vizsgálat szerint, max 5%                     |

Megi.: GDA: A Geotechnik der Deponien und Altlasten munkacsoport ajánlása  
n.a. : nincs adat

A műszaki átvételre vonatkozó vizsgálati rendet az 5.25. táblázat tünteti fel.

5.25. táblázat

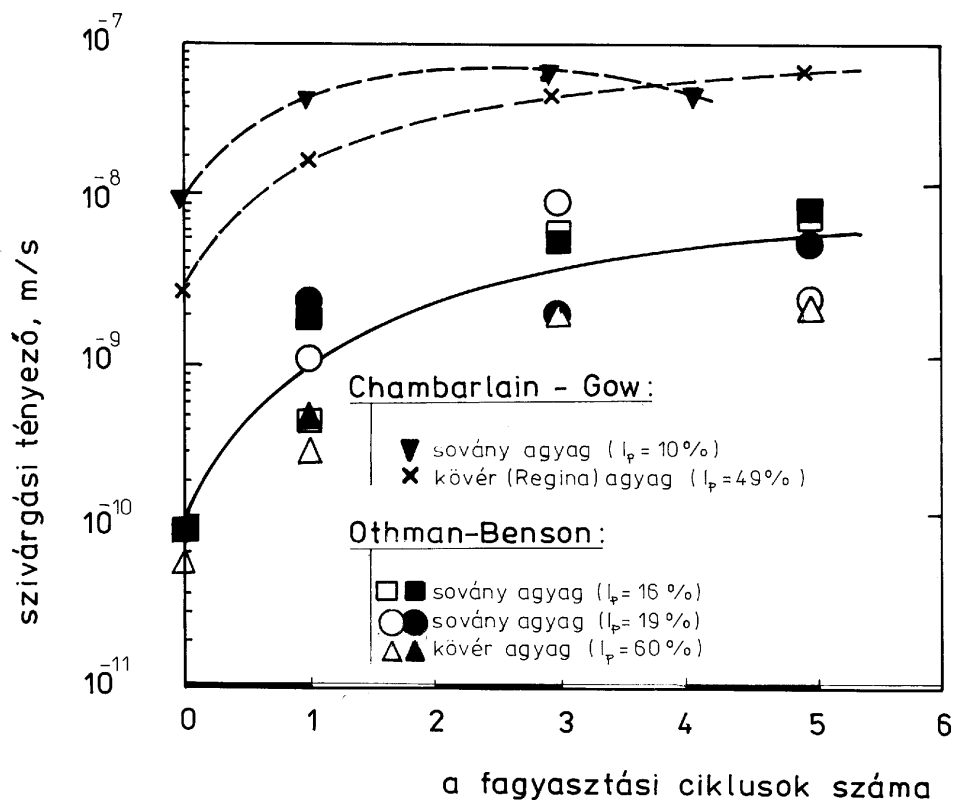
| <i>Az osztrák szabvány előírásai a műszaki átvételi vizsgálatokra a legfelső terítési rétegre vonatkozóan</i> |      |                                                       |                            |                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------|
| Kísérlet                                                                                                      | Jel  | Legalább egy vizsgálatot igénylő terület              | Vizsgálati előírás         | Határérték                                                 |
| Szivárgási tényező                                                                                            | k    | 900 m <sup>2</sup> , építési szakaszonként legalább 3 | cső-infiltróméter          | 10 <sup>-9</sup> – 5x10 <sup>-10</sup> m/s előírás szerint |
| Tömörség <sup>1)</sup>                                                                                        | -    | az egész területen                                    | dinamikus mérőhenger       | egyenletesség                                              |
| Az egyes terítési réteg vastagsága                                                                            | d    | 900 m <sup>2</sup>                                    | geodéziaiilag              |                                                            |
| Nyírószilárdsági paraméter <sup>2)</sup>                                                                      | ρ, c | 1000 m <sup>3</sup>                                   | triaxiális, nyíróvizsgálat | az alkalmassági vizsgálat szerint                          |

<sup>1)</sup> ha a beépítési víztartalom a megengedhető víztartalom határzónájában van

<sup>2)</sup> rézsűn levő rétegeknél, ha a rézsű hossza ≥ 10 m

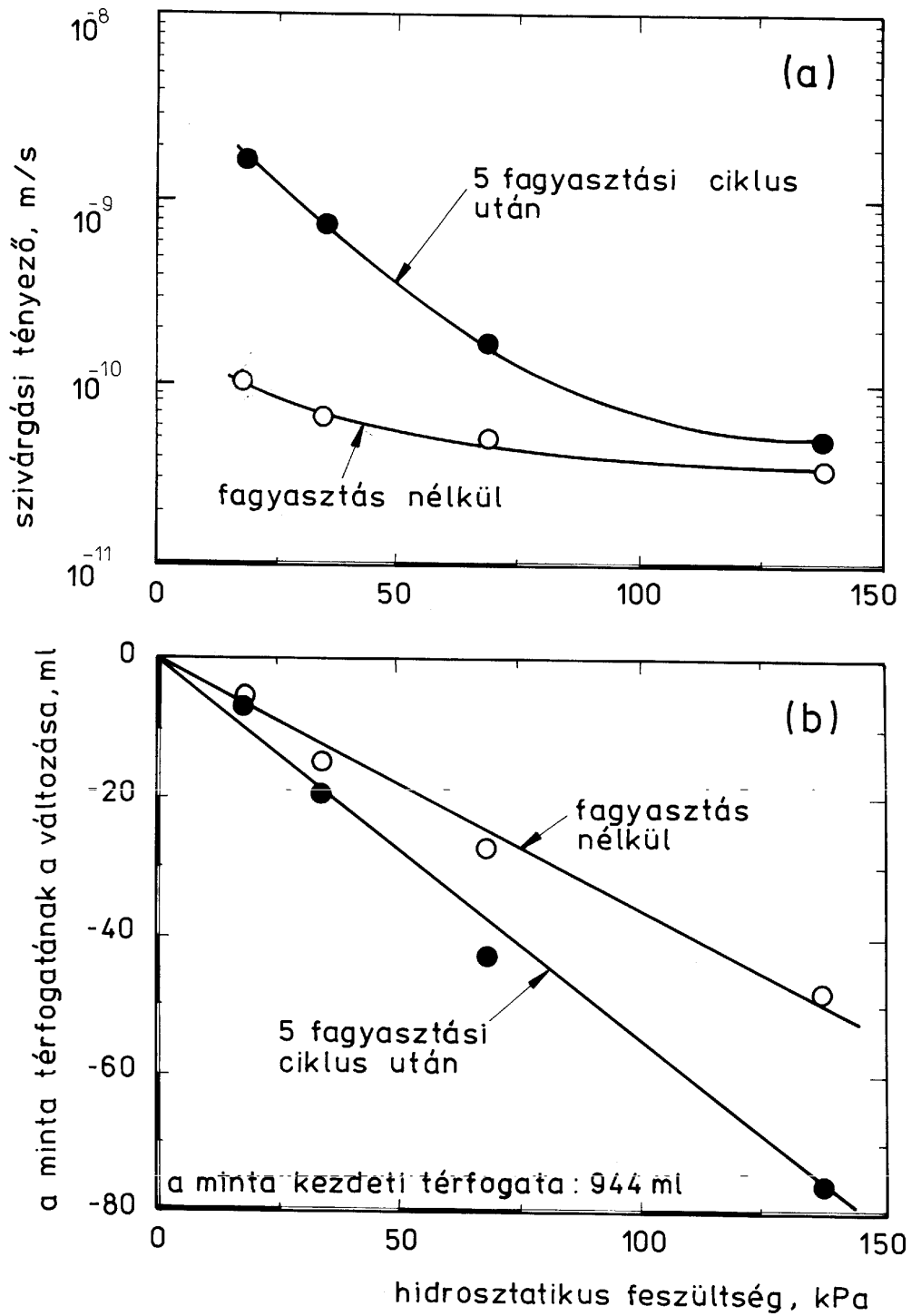
### 5.6. A talajfagy hatása a szivárgási tényező értékére

A szigetelőrétegek vízzáróságánál még a legmondosabb ellenőrzés és műszaki átvétel mellett sem zárható ki a talajfagy hatására bekövetkező romlás. A lerakó aljzatszigetelése általában jóval nagyobb felületen készül el, mint amekkorát már az első évben igénybe vesznek. Van egy jelentős kiterjedésű felület, amelyen a fedőréteg csak a geomembránból és a reá kerülő szűrőrétegből áll. Hazai viszonyok mellett a talajfagy mélysége átlagos körülmények között elérheti a 60-80 cm-t is. A tényleges értéke számos tényező, így a talajnem, a víztartalom, az időjárás, a terhelés, az idő függvénye. A problémával foglalkozó kutatók (HOLZLÖHNER, 1994.; CHAMBARLAIN-GOW, 1979.; OTHMAN-BENSON, 1993.; WONG-HUANG, 1991.) többnyire ugyanarra az eredményre jutottak, hogy a fagy hatására a tömörített agyagok szivárgási tényezője jelentősen megnő, s a hatás a fagyasztási ciklusok számával nő (5.78. ábra). Kedvező viszont, hogy az átfagyott minták az olvadás után terhelést kapva ismét a kiindulási értéket megközelítő vízzárósággal rendelkeznek (5.79. ábra). Mindez felhívja a figyelmet a már elkészült szigetelőrétegek a fagykártól való megóvására, és mindenképpen meg kell akadályozni, hogy a réteg bármilyen vízutánpótlódást kapjon.



5.78. ábra

A szivárgási tényező értékének változása a fagyasztási ciklusok számának növekedésével  
(CHAMBARLAIN - GOW, 1991; OTHMAN - BENSON, 1993.)



5.79. ábra

A szivárgási tényező és a minta térfogatváltozásának alakulása a triaxiális cellában alkalmazott hidrosztatikus feszültség hatására (OTHMAN - BENSON, 1993.)

## **5.7. Irodalomjegyzék**

- ACAR, Y.B.-D' HOLLOSY, E. (1978):*  
Assessment of pore fluid effects using flexible wall and consolidation permeameters  
Geotechnical Practice for Waste Disposal Geotechnical Special Publication, No. 13.  
ASCE. pp. 231-246.
- ACAR, Y.B.-HAMIDON, A.-FIELD, S.C.-SCOTT, L. (1985):*  
The effect of organic fluids on hydraulic conductivity of compacted kaolinite  
Hydraulic Barriers in Soil and Rock, ASTM STP 874. pp. 171-187.
- ACAR, Y.B.-SEALS, R.K. (1984):*  
Clay barrier technology for shallow land waste disposal facilities  
Hazardous Waste, Vol. 1. No. 2. pp. 167-181.
- AL-TABBA, A.-WOOD, D.M. (1987):*  
Some measurements of the permeability of kaolin  
Geotechnique, 37. No. 4. pp. 499-503.
- ALTHER, G.-EVANS, J.C.-FANG, H.-WITMER, K. (1985):*  
Influence of inorganic permeants upon the permeability of bentonite  
Hydraulic Barriers in Soils and Rocks. ASTM STP 874. pp. 64-74.
- ANDERSON, D. (1982):*  
Does landfill leachate make clay more permeable?  
ASCE, Civil Engineering, Vol. 52. No. 9. pp. 66-69.
- ANDERSON, D.C.-BROWN, K.W.-THOMAS, J.C. (1985):*  
Conductivity of compacted clay soils to water and organic liquids  
Waste Management and Research, Vol. 3. No. 4. pp. 339-349.
- BELL, F.G. (1981):*  
Engineering properties of soils and rocks.  
Butterworths
- BENÁK F. (1990):*  
A tömörítés hatása a finomszemcsés talajok áteresztőképességi együtthatójára  
Mélyépítéstudományi Szemle, XL. évf. 3. szám pp. 113-120.
- BERECZ E. (1991):*  
Fizikai kémia. 3. javított kiadás  
Tankönyvkiadó, Bp.
- BOHN, H.-MC NEAL, B.-O'CONNOR, G.A. (1985):*  
Talajkémia  
Mezőgazdasági Kiadó-Gondolat Kiadó, Bp.
- BOLT, G.H. (1956):*  
Physico-chemical analysis of the compressibility of clays  
Geotechnique, Vol. 6. p. 86.
- BOLT, G.H.-PAGE, A.L. (1965):*  
Ion exchange equilibrium based on double layer theory  
J. Soil Science, Vol. 99. No. 6. pp. 365-361.
- BOWDERS, J.J.-DANIEL, D.E. (1987):*  
Hydraulic conductivity of compacted clay to dilute organic chemicals  
Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 113. No. 12. ASCE

- BOYNTON, S.S.-DANIEL D.E. (1985):*  
Hydraulic conductivity tests on compacted clay  
Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 111. No. 4. pp. 465-478.
- BRANDL, H. (1989.):*  
Geotechnische und bauliche Aspekte bei der Neuanlage von Abfalldeponien  
Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 134. Jg. H.3. pp. 123-163.
- BROWN, K.W.-GREEN, J.W.-THOMAS, J.C. (1983):*  
The influence of selected organic liquids on the permeability of clay liners land disposal  
of hazardous waste.  
Proc. of the 9th Annual Research Symp., Kentucky, pp. 114-125.
- BRUNELLE, T.M.-DELL, L.R.-MEYER, CH. J. (1987):*  
Effect of permeameter and leachate on a clay liner  
Geotechnical Practice for Waste Disposal '87, ASCE, pp. 347-362.
- CHAMBARLAIN, E.J.-GOW, A.J.(1979):*  
Effect freezing and thawing on the permeability and structure of soils  
Engineering Geology, Vol. 13. pp. 73-92.
- CHAPIUS, R.P. (1990 a):*  
Soil-bentonite liners: predicting permeability from laboratory tests  
Canadian Geotechnical Journal, 27. pp. 47-57.
- CHAPIUS, R.P. (1990):*  
Sand-bentonite liners: field control methods  
Canadian Geotechnical Journal, 27. pp. 216-223.
- CZURDA, K.A.-SCHABABERLE (1990):*  
Zur Frostempfindlichkeit von mineralischen Abdichtungen  
Neuzeitliche Deponietechnik (Hrsg.: JESSBERGER, H.L.), Balkema, Rotterdam pp. 237-253.
- D' APPOLONNIA, D. (1980):*  
Soil-bentonit slurry trench cutoffs  
Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 106. No. GT4, pp. 399-417.
- DANIEL, D.E. (1984):*  
Predicting hydraulic conductivity of clay liners  
Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 110. No. 2. pp. 285-300.
- DANIEL, D.E. (1993):*  
Clay liners  
Geotechnical Practice for Waste Disposal, Chapter 7.  
Chapman and Hall, London
- DANIEL, D.E.-ANDERSON, D.C.-BOYNTON, S.S. (1985):*  
Fixed wall versus flexible wall permeameters  
Hydraulic Barriers in Soil and Rock, ASTM STP 874. pp. 107-126.
- DAY, S.R.-DANIEL, D.E. (1985.a):*  
Field permeability tests for clay liners  
Hydraulic Barriers in Soil and Rock, ASTM STP 874. pp. 276-288.
- DAY, S.R.-DANIEL, D.E. (1985.b):*  
Hydraulic conductivity of two prototype clay liners  
Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 11. No. 4. pp. 957-970.

- DUNN, R.J. (1986):*  
Clay liners and barriers. Considerations of compacted clay structure  
Int. Symposium on Environmental Geotechnology Vol. 1., pp. 293-302.  
Envo. Publ. Comp
- DUNN, R.J.-MITCHELL, J.K. (1984):*  
Fluid conductivity testing of fine-grained soils  
Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 110. No. GT 11. pp. 1648-1665.
- DÜLLMANN, M. (1992):*  
Qualitätssicherung bei Planung und Bau von Kombinationsdichtungen für Deponien  
Fortschritte der Deponietechnik 1992. (Hrsg. *FEHLAU, K.P.-STIEF, K.*), pp. 127-140.  
Erich Schmidt Verlag
- DÜLMANN, H. (1985):*  
Geotechnische Anforderungen an mineralische Deponiebasisabdichtungen  
Fortschritte der Deponietechnik (Hrsg.: *FEHLAU, K.P.-STIEF, K.*), pp. 39-65.  
Erich Schmidt Verlag
- ERVIN, M.C. (1939):*  
Specification and control of earthworks  
Engineering fills. Proc. of the Conference Engineered fills '93., Newcastle upon Tyne.  
Thomas Telford, pp. 18-41.
- EVANS, J.C.-FANG, H.Y. (1986):*  
Triaxial equipment for permeability testing with hazardous and toxic permeants  
Geotechnical Testing Journal, Vol. 9. No. 3. pp. 126-132.
- EVANS, J.C.-FANG, H.Y.-KUGELMAN, I.J. (1985):*  
Organic fluid effects on the permeability of soil-bentonite slurry walls  
Proc. National Conf. Hazardous Wastes and Environmental Emergencies, May 14-16.  
Cincinnati, OH.
- FANG, H.Y. (1986):*  
Introductory remarks on environmental geotechnology  
Proc. of the Int. Symposium on Environmental Geotechnology, Vol. 1. (ed.: *FANG H.Y.*), Vol. 1. pp. 1-14. Bethlehem (USA)
- FANG, H.Y. (1987):*  
Soil pollutant interaction effects on the soil behavior and the stability of foundation structures  
Environmental Geotechnics and Problematic Soils and Rocks, pp. 155-163.  
Balkema, Rotterdam
- FANG, H.Y.-EVANS, J.C. (1986):*  
Analysis, design and construction of hazardous waste control systems  
Proc. of the Int. Symposium on Environmental Geotechnology (ed.: *FANG H.Y.*), Vol.1.  
Bethlehem (USA)
- FERNANDEZ, F.-QUIGLEY, R.M. (1985):*  
Hydraulic conductivity of natural clays permeated with simple liquid hydrocarbons  
Canadian Geotechnical Journal, Vol. 22. pp. 205-214.
- FILEP GY. (1988):*  
Talajkémia  
Akadémiai Kiadó, Bp.

- GARBER, E.-DALMATINER, J. (1992):*  
ABA Debrecen. Bodenmechanisches Gutachten  
Graz, Kézirat.
- GREEN, W.J.-LEE, G.F.-JONES, R.A.-PALLT, T. (1983):*  
Interaction of clay soils with water and organic solvents: Implications for the disposal of hazardous wastes  
Environmental Sci. Technology, Vol. 17. No. 5. pp. 278-282.
- GREEN, W.J.-LEE, G.F.-JONES, R.A. (1981):*  
Clay-soils permeability and hazardous waste storage  
Journal of the Water Pollution Control Federation, Vol. 53. pp. 1347-1354.
- GRIFFIN, R.A.-CARTWRIGHT, K.-SHIMP, N.F.-STELE, J.D.-RUCH, R.R.-WHITE, W.A.-HUGHES, G.M.-GILKESON, R.H. (1976)*  
Attenuation of pollutants in municipal landfill leachate by clay minerals. Part 1. Column leaching and field verification  
Illionis State Geol. Survey, Environmental Geology Notes, No. 79.
- GRIFFIN, R.A.-FROST, R.R.-AU, A.K.-ROBINSON, G.D.- SHIMP, N.F. (1977):*  
Attenuation of pollutants in municipal landfill leachete by clay mineral. Part 2.: Heavy-metal adsorption  
Illionis State Geol. Survey, Environmental Geology Notes, No. 79.
- HARDCASTLE, J.H.-MITCHELL, J.K. (1974):*  
Electrolyte concentration permeability relationships in sodium illit-silt mixtures  
Clays and Clay Minerals, Vol. 22. pp. 143-154.
- HERMANN, R.-MESECK, H.-REUTER, E. (1987):*  
Sind Dichtwandmassen beständig gegenüber den Sickerwässern aus Altlasten?  
Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, TU Braunschweig, Heft 25.  
pp. 113-154.
- HOLZLÖHNER, U. (1994):*  
Chemische und physikalische Einwirkungen auf mineralische Abdichtungsmaterialien, innovative Baustoffe  
BAM Forschungsbericht 201. Deponieabdichtungssysteme, pp. 105-116.  
Verlag für neue Wissenschaften, Bremerhaven
- HORN, A. (1988):*  
Bentokies-Dichtungen. Mineralische Basisabdichtungen aus Kies und Bentonit.  
Geotechnische Probleme beim Bau von Abfalldeponien. Seminar: veranstaltet von der Landesgewerbeanstalt Bayern und dem Bayerischen Landesamt für Umweltschutz,  
Nürnberg, 21/22. April 1988. pp. 29-53.
- HORVÁTH ZS. (1990):*  
Hulladéklerakók alatti rétegek szivárgási tényezőjének változása csurgalékvíz hatására  
Hidrológiai Közlöny, 1. sz. pp. 44-50.
- JESSBERGER, H.L. (1987-1994):*  
Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und Altlasten" der Deutschen Gesellschaft für Erd-und Grundbau e.V.  
Bautechnik, 1987-96., H.9.
- JUHÁSZ J. (1987):*  
Hidrogeológia, Akadémiai Kiadó, Budapest



- KÉZDI Á. (1971):*  
Talajmechanika I-II., Tankönyvkiadó, Bp. 1969-1970.
- KÉZDI Á. (1976):*  
Talajmechanikai praktikum, Tankönyvkiadó, Bp.
- KINZELBACH, W. (1986):*  
Groundwater modelling (An introduction with sample programs in BASIC), Elsevier, N.Y.
- KOCH, S.-SZTRÓKAI, N.F. (1967):*  
Ásványtan, Tankönyvkiadó, Bp.
- KORFIATIS, G.P.-DEMETRACOPOULOS, A.C.-SCHURING, J.R. (1986):*  
Laboratory testing for permeability and dispersivity of cohesive soils  
Int. Symp. on Environmental Geotechnology, (ed.: FANG, H.Y.) Vol. 1. pp. 363-369.
- KORFIATIS, G.P.-RABAH, N.-LEKMINE, D. (1987):*  
Permeability of compacted clay liners in laboratory scale models  
Geotechnical Practice for Waste Disposal '87. ASCE, pp. 611-624.
- LAMBE, T.W. (1958):*  
The structure of compacted clay  
Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 84. SM2. pp. 34-45.
- LAMBE, T.W.-WHITMAN, R.V. (1969):*  
Soil Mechanics  
John Wiley and Sons Inc., New York
- LENTZ, R.N.-HORST, W.D.-UPPOT J.O. (1985):*  
The permeability of clay to acidic and caustic permeants  
Hydraulic Barriers in Soil and Rock, ASTM STP 874, pp. 127-139.
- LEROUEIL, S.-BOIGLIN, G.-TAVENAS, F.-BERGERON, L.-LA ROCHELLE, P. (1990):*  
Permeability anisotropy of natural clays as a function of strain  
Canadian Geotechnical Journal, 27. pp. 568-579.
- LONSTÁK L. (1991):*  
A hulladéklerakókból származó szennyező anyagok és az agyagtartalmú kőzetek kölcsönhatásai  
Szakmérnöki dolgozat, Kézirat
- LOWE, J.-JOHNSON, T.C. (1960):*  
Use of back pressure to increase degree of saturation on triaxial specimens  
ASCE Research Conf. on Shear Strength of Cohesive Soils, Boulder, Colorado, pp. 819-836.
- MANASSERO, M.-SHACKELFORD, C.D. (1994):*  
The role of diffusion in contaminant migration through soil barriers  
Rivista Italiana de Geotechnica, Vol. 28., No. 1., pp. 5-31.
- MANASSERO, M. (1995):*  
Waste disposal design; Some considerations on theoretical and practical geotechnical aspects  
IX. Young Geotechnical Engineers Conferenc, Ghent, 4-8. Sept. 1995. (Előadás kézirat)
- MANASSERO, M.-VAN IMPE, W.F.-BOUAZZA, A. (1995):*  
Waste disposal and containment  
Environmental Geotechnics, (ed.:Kamon, M.)  
Balkema, Rotterdam, pp. 1425-1474

- MÁRK E. (1992):*  
A szervesetlen és szerves kémiai komponensek hatása az agyagos képződmények  
kőzetfizikai jellemzőire  
Miskolci Egyetem, szakmérnöki dolgozat. Kézirat, p. 131.
- MARTIN, J.P.-KOERNER, R.M.-WHITTY, J.E. (1984):*  
Experimental friction evaluation of slippage between geomembranes, geotextiles and  
soils  
Proc. Int. Conf. Geomembranes, Denver, Colorado, Jun. 20-23. pp. 191-196.
- MESRI, G.-OLSON, R.E. (1971.a):*  
Mechanism controlling the permeability of clays  
Clays and Clay Minerals, Vol. 19. pp. 151-158.
- MESRI, G.-OLSON, R.E. (1971.b):*  
Consolidation characteristics of montmorillonite  
Geotechnique, Vol. 21. p. 341
- MICHAELS, A.S.-LIN, C.S. (1954):*  
The permeability of kaolinite  
Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 46. pp. 1239-1246.
- MITCHELL, J.K. (1976):*  
Fundamentals of soil behavior  
John Wiley and Sons Inc.
- MITCHELL, J.K.-HOOPER, D.R.-CAMPANELLA, R.G. (1965):*  
Permeability of compacted clay  
Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 91. No. 4. pp. 41-  
65.
- MITCHELL, J.K.-MADSEN, F.T. (1987):*  
Chemical effects on clay hydraulic conductivity  
Geotechnical Practice for Waste Disposal '87.  
Geotechnical Special Publication, No. 13. ASCE, pp. 87-116.
- NAIK, D. (1976):*  
Effect of temperature and pore fluid on shear characteristic of clay  
Int. Symp. on Environmental Geotechnology (ed.: FANG, H.Y.) Vol. 1. pp. 382-390.
- NEGUSSEY, D.-WIJEWICKREME, W.K.D.-VAID, Y.P. (1989):*  
Geomembrane interface friction  
Canadian Geotechnical Journal, 26. pp. 165-169.
- NEMECZ, E. (1973):*  
Agyagásványok, Akadémiai Kiadó, Bp.
- NISHIDA, Y. (1961):*  
Eine einfache Formel zur Abschätzung der Durchlässigkeitskoeffizienten von Tonböden  
Der Bauingenieur, 36. Jg. H.12. pp. 461-463.
- NISHIDA, Y.-KOIKE, H.-NAKAGAWA, S. (1971):*  
Coefficient of permeability of highly plastic clays  
Proc. 4<sup>th</sup> Conf. on Soil Mechanics, Bp. pp. 219-224.
- OLSON, R.E.-DANIEL, D.E. (1981):*  
Measurement of the hydraulic conductivity of fine-grained soils  
Permeability and Groundwater Contaminant Transport, ASTM STP 746. pp. 18-64.

- OLZEM, R. (1985):*  
Anforderungen an die Dichtigkeit von Deponiebasisabdichtungen  
Fortschritte der Deponietechnik (Hrsg: *FEHLAU-STIEF*), Abfallwirtschaft in Forschung  
und Praxis, Band. 15. pp. 9-37.  
Erich Schmidt Verlag
- OTHMAN, M.A.-BENSON, C.H. (1993):*  
Effect of freeze-thaw on the hydraulic conductivity and morphology of compacted clay  
Canadian Geotechnical Journal, Vol. 13. No. 2. pp. 236-246.
- OWEIS, I.S. - KHERA, R.P. (1990):*  
5. Geotechnology of Waste Management  
2. Butterworths, p. 273.
- PETERSON, S.R.-GLENDON, W.G. (1985):*  
Interaction between acidic solutions and clay liners: permeability and neutralization  
Hydraulic Barriers in Soil and Rock, ASTM STP 874. pp. 229-245.
- PREGL, O. (1979):*  
Geotechnische Anforderungen an Mülldeponien-Standsicherheit, Setzungsverhalten,  
Mineralisches Dichtungsmaterial  
Standortauswahl in der Abfallwirtschaft (Hrsg.: *ROHRBECK, M.*)  
Erich Schmidt Verlag
- QUIGLEY, R.M.-FERNANDEZ, F. (1987):*  
Engineered clay liners: A short review  
Environmental Geotechnics and Problematic Soils and Rocks  
(ed.: *BALASUBRAMANIAM et al.*)  
Balkema, Rotterdam
- QUIRK, J.P.-SCHOFIELD, R.K. (1955):*  
The effects of electrolyte concentrations on soil permeability  
Soil Science, No. 2. pp. 163-178.
- RAO, N.S.-ACAR, Y.B. (1984):*  
A study of membran-permeant compatibility  
Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 7. No. 2. pp. 104-106.
- REUTER, E. (1988):*  
Durchlässigkeitsverhalten von Tonen gegenüber anorganischen und organischen Säuren  
Fachbereich für Bauingenieur- und Vermessungswesen der TU Braunschweig.  
Dissertation
- ROSENQVIST, I. Th. (1955):*  
Investigation in the clay-electrolyte system  
Norwegian Geotechnical Institute, Publ. No. 9.
- SALAS, I.A.J.-SERRATOSA, J. M. (1953):*  
Compressibility of clay  
Third Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. Vol. 1. pp. 192-198.
- SCHNEIDER, G. (1988. a):*  
Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes von mineralischen Dichtungsschichten aus in-  
situ Versuchen  
Bautechnik, H.12. pp. 424-426.
- SCHNEIDER, H.J. (1988. b):*  
Geotechnische Anforderungen an Untertage-Deponien in Bergwerken, Fels- und  
Salzkavernen zur Zwischen- oder Endlagerung von Sonderabfällen

- SEED, H.-CHAN, C.K. (1959):*  
Structure and strength characteristics of compacted clays  
Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 85. No. SM 5.  
Proc. Paper 2216. Oct.
- SHULTZE, E.-MUHS, H. (1967):*  
Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten  
Springer Verlag
- SILVA, A. J.-HETHERMAN, J.R.-CALNAN, D.I. (1981):*  
Low gradient permeability testing of fine-grained marine sediments  
Permeability and Groundwater Contaminant Transport, ASTM, STP 746. pp. 121-136.
- SIVAPULLIAH, P.V.-SRIDHARAN, A. (1987):*  
Effect of polluted water on the physico-chemical properties of clayey soils  
Environmental Geotechnics and Problematic Soils and Rocks  
(ed.: *BALASUBRAMANIAM* et al.)  
Balkema, Rotterdam
- SOLYMAR, Z.V.-ILOABACHIE, B.C. (1986):*  
Permeability in an alluvial dam foundation  
Geotechnique, 36. No. 1. pp. 95-108.
- SRIDHARAN, A.-SIVAPULLIAH, P.V. (1987):*  
Engineering behavior of soils contaminated with different pollutants  
Environmental Geotechnics and Problematic Soils and Rocks  
(ed.: *BALASUBRAMANIAM* et al.), pp. 165-178.  
Balkema, Rotterdam
- SRIDHARAN, A.-JAYADEVA, M.S. (1982):*  
Double layer theory and compressibility of clays  
Geotechnique, Vol. 32. pp. 133-145.
- SRIDHARAN, A.-RAO, G.V. (1979):*  
Shear strength behavior of saturated clays and the role of the effective stress concept  
Geotechnique, 29. No. 2. pp. 177-193.
- STEWART, J.P.-NOLAN, TH. W. (1987):*  
Infiltration testing for hydraulic conductivity of soil liners  
Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 10. No. 2. pp. 41-50.
- SZABÓ I. (1984):*  
Ipari hulladékok elhelyezésének hatása a kőzetek fizikai tulajdonságaira  
Mérnökgeológiai Szemle, 32. pp. 35-45.
- SZABÓ I. (1989):*  
Laza üledékes kőzetek nyíróvizsgálatának kritikai elemzése  
Kandidátusi dissz. Kézirat
- SZABÓ I. (1991):*  
Szennyező anyagok hatása az agyagok vízzáróságára  
Miskolci Egyetem Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék. Kézirat
- SZABÓ I. (1994):*  
A hódmezővásárhelyi kommunálshulladék-lerakóhely talajmechanikai szakvéleménye  
ME. Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék. Kézirat.
- SZEPESY J. (1991):*  
A hulladéktárolók szigetelése - az agyagszigetelések egyes kérdései  
Hidrológiai Közlöny, 71. évf. 1. sz. pp. 51-56.

- TAVENAS, F.-LEBLOND, P.-JEAN P.-LEROUELL, S. (1983):*  
The permeability of natural soft clays. Part I: Methods of laboratory measurement  
Canadian Geotechnical Journal, 20. pp. 629-644.
- TERZAGHI, K.-PECK, R.B. (1948):*  
Soil mechanics in engineering practice  
Wiley and Sohn, N.Y.
- THOME-KOZMIENSKY (Hrsg):*  
Behandlung von Sonderabfällen, Vol. 2. pp. 1064-1079.  
EF-Verlag, Berlin
- TRAUTWEIN, S.J.-BOUTWELL, G.P. (1994)*  
In situ hydraulic conductivity tests for compacted soil liners and caps  
Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil, ASTM STP. 1142
- VARGA L. (1983):*  
A talajok áteresztőképességének laboratóriumi méréséről  
Mélyépítéstudományi Szemle, XXXIII. évf. 2. pp. 61.-68.
- WALLACHER L. (1989):*  
Üledékes kőzetek és kőzetalkotó ásványaik  
Egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Bp.
- WEINMANN, (1990):*  
Bentonit-ein Baustoff im Deponiebau  
Seminar über multi-mineralische Deponie-Basisabdichtungen, Bingen-  
Büdesheim/Rhein  
27. Nov. 1990.
- WONG, L.C.-HUANG, M.D. (1991):*  
Cyclical closed-system freeze-thaw permeability testing of soil liner and cover materials  
Canadian Geotechnical Journal, Vol. 28. pp. 784-793.
- YONG, R.N. (1986):*  
Selective leaching effects on some mechanical properties of a sensitive clay  
Int. Symp. on Environmental Geotechnology, Vol. 1. pp. 349-362.
- ZIMMIE, T.F. (1981):*  
Geotechnical testing considerations in the determination of laboratory permeability for  
hazardous waste disposal siting  
Hazardous Solid Waste Testing, ASTM STP. 740. pp. 293-304.



## 6. FEJEZET

### A HULLADÉKLERAKÓK TERVEZÉSI KÉRDÉSEI

Az előző fejezetekben megismerkedtünk a hulladékelhelyezés alapfogalmaival és a hulladékelhelyezés rendszerével. Ugyancsak röviden áttekintettük a különböző hulladékkezelési eljárásokat, amelyekkel a keletkező hulladékok mennyisége csökkenthető, fizikai, kémiai tulajdonságai változtathatók. Mindezen eljárások ellenére ma, és valószínűleg még hosszú ideig a *hulladékártalmatlanítás* egyik domináns módja lesz a *rendezett hulladéklerakás*. Ha megnézzük pl. Németországot, ott 1977-ben a háztartási hulladék 74,7%-a, 1987-ben 67,8%-a került lerakásra, s a prognózis szerint ez az arány még 2000-ben is meghaladja a 49 százalékot. A *rendezett lerakás elsődleges előnye* az egyszerű technika mellett a viszonylag *kicsi fajlagos költség*. A rendezett hulladéklerakókkal szemben alapvető követelmény, hogy üzemeltetésük során a környezetükre a lehető legkisebb veszélyt jelentsenek. Nem véletlenül fogalmaz BRANDL (1989.) a következőképpen: a hulladéklerakó telepeket *mérnöki létesítményeknek* és nem túlméretezett szemétdröknak kell tekinteni. A kis költség mellett a deponálásnak vannak *hátrányai is*, többek között pl. az, hogy a hulladék anyag- és energiahasznosítása nem valósul meg. Mindamelllett a depóniák a hulladékgazdálkodásnak igen jelentős elemei, különösen ha égetőmű-, komposztálás-, anyagvisszaforgatás (recycling)-, az értékes anyagok válogatásának alkalmazása révén csak értéktelen maradékanyagok keletkeznek, amelyeket deponálnak, s így a területfelhasználási igény lényegesen csökkenthető és a környezetre gyakorolt szennyeződésveszély sokkal kisebb. Ugyanakkor igaz az is, hogy a hulladékkezelési eljárások kezdetben nagyobb beruházást igényelnek. A tapasztalat megtanított arra, hogy egy, a mai technikai színvonalon megvalósított depónia holnap esetleg az akkori megítélés szerint már egy, a környezetére veszélyes, az akkori technikai követelményeknek nem megfelelő elhelyezésnek fog minősülni. A hulladéklerakók tervezésénél és üzemeltetésénél erre mindenképpen tekintettel kell lenni, különösen azokon a területeken, amelyek esetleg ma még nincsenek kellőképpen szabályozva vagy az előírások "előregedtek". A hulladékgazdálkodás és elhelyezés területén nap mint nap új ismeretek, eljárások, tapasztalatok látnak napvilágot, amit a jogi-, műszaki szabályozás nem minden esetben tud követni. Ez azt jelenti, hogy nagyon sok múlik a tervező-, üzemeltető-, a felügyeletet gyakorló szakhatóság naprakész tudásán kívül a lelkiismeretén is. Különösen igaz ez hazánkban, ahol a hulladékelhelyezés jogi és műszaki szabályozása még meglehetősen hiányos.

Ugyanakkor nagyon fontos, hogy a műszaki és jogi szabályozás hiányosságai ellenére a mai európai színvonalnak megfelelő új hulladéklerakók épüljenek. A Környezetgazdálkodási Intézet 1993-ban végzett felmérése szerint:

- az országban mintegy 2700 hulladéklerakó üzemel, amelynek 70%-a még a magyar környezetvédelmi előírásoknak sem felel meg. Többek között 20-30%-a vízjárta területen van;
- mindössze 8 lerakó rendelkezik biogáz hasznosítással;
- a lerakóknak csak 10%-a áll rendszeres ellenőrzés alatt;
- a felhasználható szabad kapacitás 62 millió m<sup>3</sup>, ami azt jelenti, hogy a lerakók több mint fele 5 éven belül megtelik;
- a lerakók 67%-a nem rendelkezik semmilyen csurgalékvízgyűjtő rendszerrel, emiatt évente 47 ezer m<sup>3</sup> kezeletlen csurgalékvíz veszélyezteti a talajvizet, aminek negyedrésze közvetlenül bele is jut;

- a becslések szerint a kommunálshulladék-lerakókon mintegy 14-16 ezer tonna veszélyes komponens található;
- a lerakóban keletkező és emittált gáz mennyisége  $130 \text{ MNm}^3$ , ha csak az 1993-ban lerakott hulladékot vesszük figyelembe;
- figyelembe véve a hazai hulladéklerakók 7,0 m-es átlagmagasságát, a frissen lerakott hulladék által évente elfoglalt terület még tömörítés után is közel  $1 \text{ km}^2$ .

Az idézett felmérés megjelenése óta számos kedvező folyamat elindulása tapasztalható. A kedvező pénzügyi feltételeket biztosító pályázati lehetőségek (önkormányzatok céltámogatási rendszere, Központi Környezetvédelmi Alap, stb.), külföldi és vegyes érdekeltségű beruházások révén az utóbbi 5 évben több, az európai normáknak megfelelően kialakított kommunálshulladék-lerakó épült (Debrecen, Hódmezővásárhely, Békéscsaba, Körmend, Dunakeszi, Tatabánya, stb.) és várhatóan épülni fog a közeljövőben is. A pályázatoknál előnyben részesülnek a több települést kiszolgáló regionális hulladéklerakók, a regionális településhulladék-kezelési rendszerek. A pályázati rendszer már csak olyan lerakók építését támogatja, amelyek műszaki védelemmel is rendelkeznek. További prioritást élveznek azok a pályázók, akik az új lerakó építésével együtt vállalják a meglévő korszerűtlen lerakó felszámolását, rekultivációját, továbbá sérülékeny vízbázis területén jelenleg meglévő lerakó műszaki védelmének kialakítását.

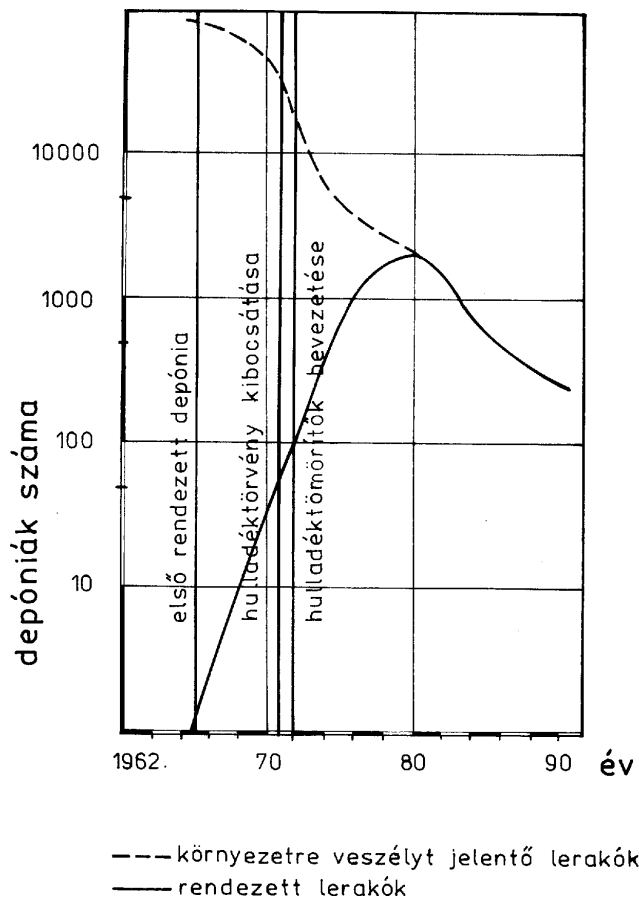
Mint látható elindult egy kedvező folyamat, ami reményt ad arra, hogy az európai fejlett országokhoz képest e területen meglévő 20-25 éves lemaradásunkat felszámoljuk, hiszen az ismeretanyag hozzáférhető, megszerezhető, s a szűk keresztmetszetet ma még alapvetően a pénzügyi lehetőségek jelentik.

Valójában nem is gondolnánk, hogy egy olyan fejlett környezetvédelemmel rendelkező országban, mint Németország az első rendezett lerakóhelyet 1961-ben létesítették Bochumban, s azidőtájt közel 50 ezer, mai értelemben véve nem rendezett, *a környezetre veszélyt* jelentő depónia volt (**6.1. ábra**). SCHENKEL (1974.) a *rendezett lerakás követelményeit* az alábbiakban határozta meg:

1. Hulladékok koncentrációja a szükséges legkisebb területen, lehetőleg központi lerakótelepeken.
2. A különböző eredetű és tulajdonságú hulladékanyagok együttes elhelyezése homogenizált, többkomponensű depóniában.
3. A talajvízszint felett a hulladék dombépítéssel való elhelyezése. A dombépítéssel való elhelyezés a gödör feltöltéssel szemben kedvezőbb vízháztartással rendelkezik, s jobb az átlevégőztetése.
4. A hulladéklerakótelepet csapadékszegény területre célszerű telepíteni.
5. A hulladéklerakó területén a talajvíz és a hulladék között megfelelő védőréteg szükséges.
6. A hulladék és a talajvízszint között legyen jó vízvezető és megfelelő szorpciós kapacitással rendelkező réteg.
7. A hulladéklerakóhelyek lehetőleg kis talajvízáramlási sebességgel rendelkező területre kerüljenek. Repedezett alapkőzet, karszterület kerülendő.
8. A hulladéklerakóhely alatti talaj rendelkezzen jó mechanikai szűrőképességgel.
9. Geotechnikai szempontból a kis lejtőszöggel rendelkező területek kedvezőbbek.
10. A hulladékot a csurgalékvíz képződés megakadályozása, vagy a lehető legalacsonyabb szinten való tartása érdekében vízzáró anyaggal kell lefedni.
11. A hulladéklerakótelepnek megfelelő ellenőrző- és megfigyelő rendszerrel kell rendelkeznie.
12. A hulladéklerakótelepek nem kerülhetnek árvízveszélyes-, elöntésveszélyes területekre.



A fenti 12 pont, bár közel két évtizede született, némi módosítással, ma is érvényes. A fenti kritériumok elsősorban csak a természeti adottságokra épülnek, azonban ha ezt kiegészítjük azzal, hogy a fenti kívánalmakat a természetes és/vagy mesterséges védelemnek együttesen kell biztosítania, akkor a rendezett hulladéklerakóval szemben támasztott követelményeket helyesen fogalmaztuk meg.



6.1. ábra

A rendezett hulladéklerakók számának időbeli alakulása Németországban  
(BILITEWSKI et al., 1990.)

Annak érdekében, hogy a múltban elkövetett hibák ne ismétlődhessenek meg, a szakemberek többsége egyetért abban, hogy egy igazán korszerű hulladéklerakónál *nem elegendő csak egyetlen védelmi rendszerre támaszkodni* (pl. csak természetes; csak mesterséges; stb.), hanem a védelemnek többszörösnek kell lennie, s az egyes elemeknek egymástól függetlenül is hatékonyaknak kell lenniük. Ez a *többszörös védelem elve* (STIEF, 1986.), amelynek az egyes elemei a következők:

1. Hulladék-előkezelés.
2. Megfelelő földtani- és vízföldtani viszonyok.
4. Aljzatszigetelő és csurgalékvízgyűjtő rendszer, az összegyűjtött szennyezett víz kezelése.
5. A depóniafelület megfelelő lezárása, a lefolyó vizek szakaszolt összegyűjtése.
6. A védelmi rendszert nem károsító hasznosítás, folyamatos ellenőrzés és az észlelt hibák kijavíthatósága.

### 6.1. A hulladéklerakók osztályozása

A hulladéklerakók számos kritérium szerinti osztályozása ismert (BRANDL, 1988.):

a) *A hulladéklerakás időtartama szerint:*

- *végleges lerakók*

A mai, modern felfogás szerint végleges lerakás esetén alapvető célkitűzés, hogy a lerakó a környezetére semmilyen káros ökológiai hatást ne fejtson ki.

A végleges lerakó fogalmát német szakemberek (BILITEWSKI et al., 1990.) a következőképpen fogalmazzák meg: végleges lerakónak akkor tekinthetők a felszín alatti, kavernában kialakított, vagy a felszínen elhelyezett depóniák, ha a *lerakott anyag szilárdított, stabilizált és immobilizált.* A keletkező *eluátumoknak ivóvízminőségűeknek, vagy rendszersemlegesnek kell lenniük.* Végleges lerakás szempontjából a fenti alapelv alapján csak a szilárd, vagy szilárdított hulladékok jöhetnek számításba. Ugyancsak a fenti szigorú definíció alapján, a ma meglévő hulladékdepóniák többsége sajnos csak az átmeneti tárolók egy bizonyos fajtájának tekinthető.

- *átmeneti tárolók*

= *meghatározott idejű lerakás:* mindaddig meglévő áthidaló megoldás, amíg a hulladékkezeléshez a megfelelő technológia és berendezés rendelkezésre nem áll.

= *gyűjtő tárolók, üzemben belüli átmeneti tárolók:* hulladékok rövid idejű deponálása, mindaddig amíg a hulladékkezelő mű a hulladékot fogadni nem tudja.

Az általános felfogással ellentétben, a fenti megfogalmazásból következik, hogy az átmeneti tárolók *nagyobb technikai ráfordítást* igényelnek, mint a végleges lerakók, mivel a potenciális környezeti ártalom is nagyobb. Ugyanakkor a területkiválasztásnál, a hulladék keletkezési helyének adottsága miatt, nincs lehetőség a végleges lerakó telepítéséhez szükséges összes kritérium figyelembevételére, különösen a földtani-, vízföldtani- és a geotechnikai követelmények területén. Ebből adódóan az átmeneti tárolók az esetek túlnyomó többségében csak szigorú és többszörös *műszaki védelemmel* képzelhetők el. Különösen fontos a szigorú műszaki védelem előírása, ha a tárolás nyílt téren történik.

b) *A hulladék minősége szerint:*

- települési szilárdhulladék-lerakók,
- települési folyékonyhulladék-lerakók,
- veszélyeshulladék-lerakók,
- termelési nem veszélyeshulladék-lerakók.

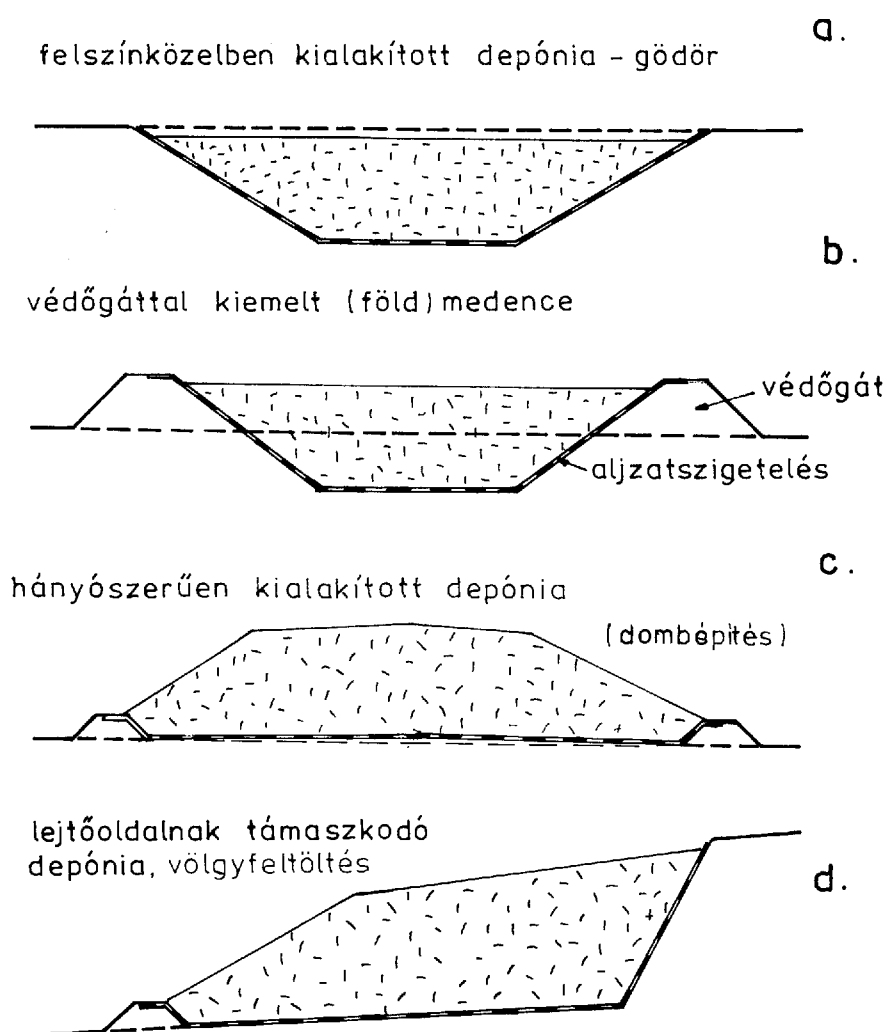
c) *Az előkezelés módja szerint:*

- inert anyagú depóniák: a hulladék egyáltalán nem, vagy csak minimális mennyiségben tartalmaz a környezetre veszélyes anyagot;
- maradékanyag-depóniák: a hulladékkezelési eljárások visszamaradó anyagainak a lerakása (a környezetre veszélyes anyagok időálló, nehezen oldható formában vannak jelen);
- reaktordepóniák: a biokémiai lebomlási folyamatok és a fizikai-kémiai reakciók egy meghatározott időtartam alatt messzemenően ellenőrzött körülmények között játszódnak le;
- különleges gondot igénylő anyagok depóniája: pl. radioaktív hulladékok, veszélyes hulladékok különleges gondot és gondosságot igénylő elhelyezése;

- településhulladék-depóniák: háztartások, kisüzemek, közszolgálati létesítmények vegyes hulladéka, amelyekbe megfelelő hulladékkezelési berendezés híján a hulladékok nagyrészt kezeletlenül kerülnek lerakásra, s mindezeknek megfelelően ezen depóniák potenciálisan jelentős veszélyt jelentenek a környezetükre.

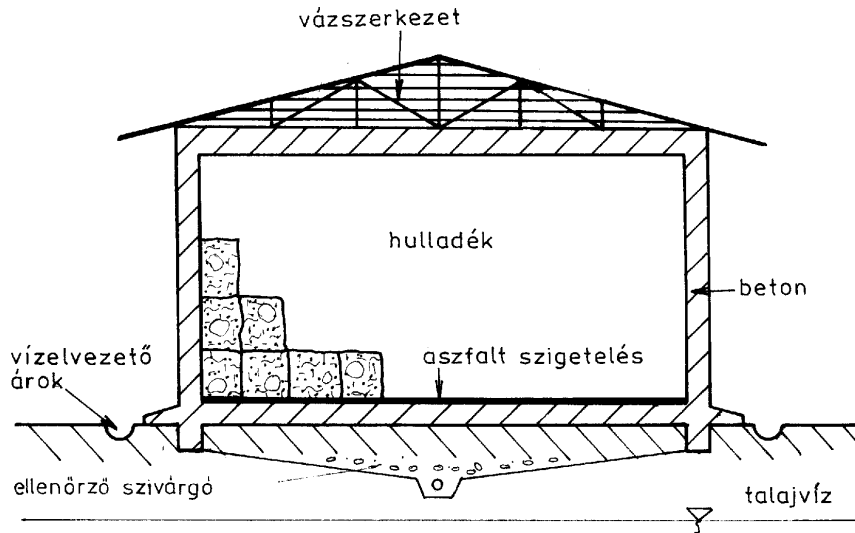
d) Az építési mód szerint

- feltöltéssel épített depóniák (6.2. ábra)
  - = fedett vagy fedetlen,
  - = nyitott vagy zárt,
  - = felszínközépen kialakított depóniagödör (6.2.a ábra),
  - = védőgáttal kiemelt (föld) medence (6.2.b ábra),
  - = hányószerűen, dombépítéssel kialakított (6.2.c ábra),
  - = lejtőoldalnak támaszkodó-, vagy völgyfeltöltés (6.2.d ábra).

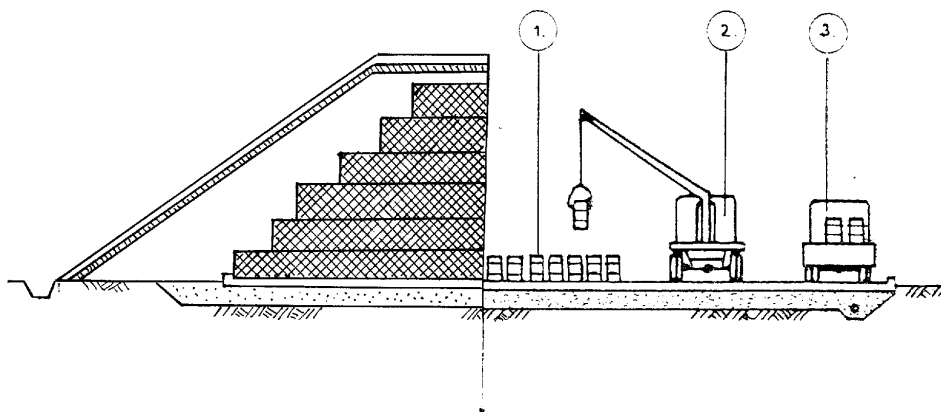


**6.2. ábra**  
Feltöltéssel épített hulladéklerakó típusok  
(BRANDL, 1989.)

- tárolószerűen kialakított lerakó
  - = szabadon álló (6.3. ábra),
  - = felszíni, részben v. teljesen betemetett (6.4. ábra),
  - = felszínközeli, részben v. teljesen a földbe süllyesztve (6.5. ábra).



**6.3. ábra**  
Felszíni hulladéktároló

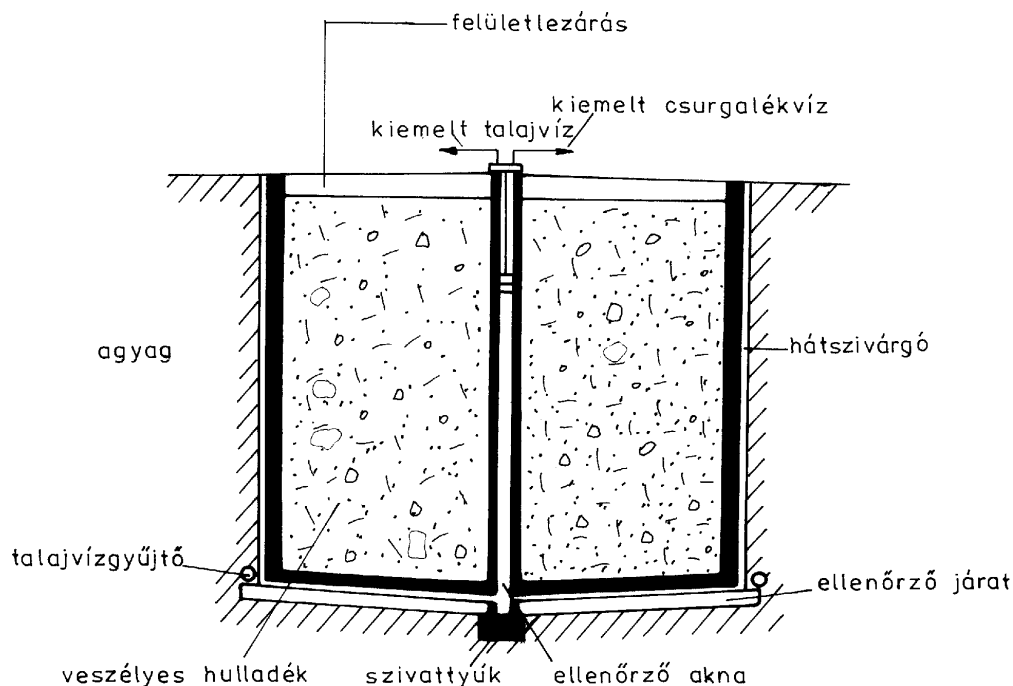


|                                                              |
|--------------------------------------------------------------|
| 30 cm humusz fűvesítés                                       |
| 20 cm homokos kavicszivárgó                                  |
| C2-K CARBOFOL lemez (d=2,5mm)                                |
| 50-120 cm agyagréteg (Trp=90%, $k < 10^{-9}$ m/s)            |
| 1 rtg lemez szigetelés (AQUABIT ŰF H 954 Pc)                 |
| kavicsbeton kitöltés a hordók vagy konténerek között (6 sor) |
| monolit vasbeton lemez                                       |
| 6 cm aljzatbeton                                             |
| 24 cm C-12 vb. lemez                                         |
| 50 cm homokos kavics ellenőrző szivárgó                      |
| Általaj ( $k=10^{-8}$ - $10^{-9}$ m/s)                       |

1. hordó
2. autódaru
3. beszállító tgc.

**6.4. ábra**

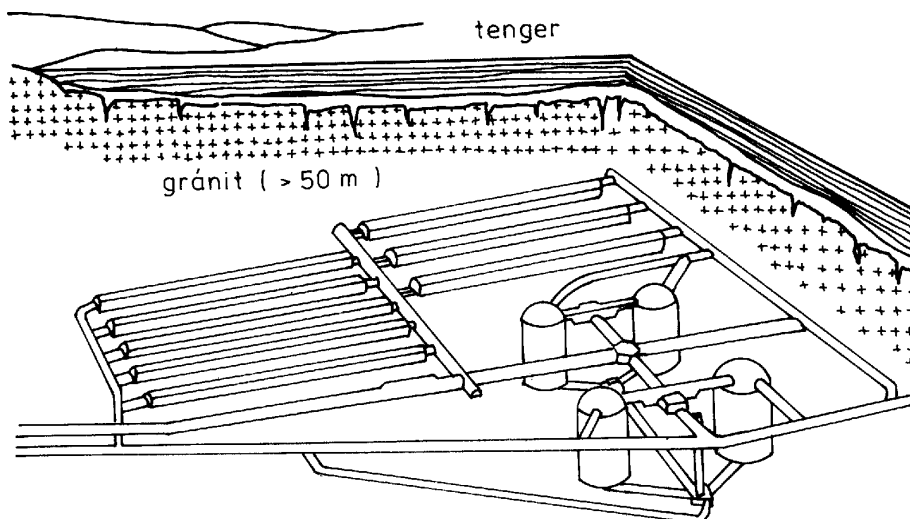
Domb alakú hulladéklerakó. I. veszélyességi osztályba tartozó veszélyes hulladékok lerakása  
Aszódon  
(HÓDI et al., 1987.)



**6.5. ábra**

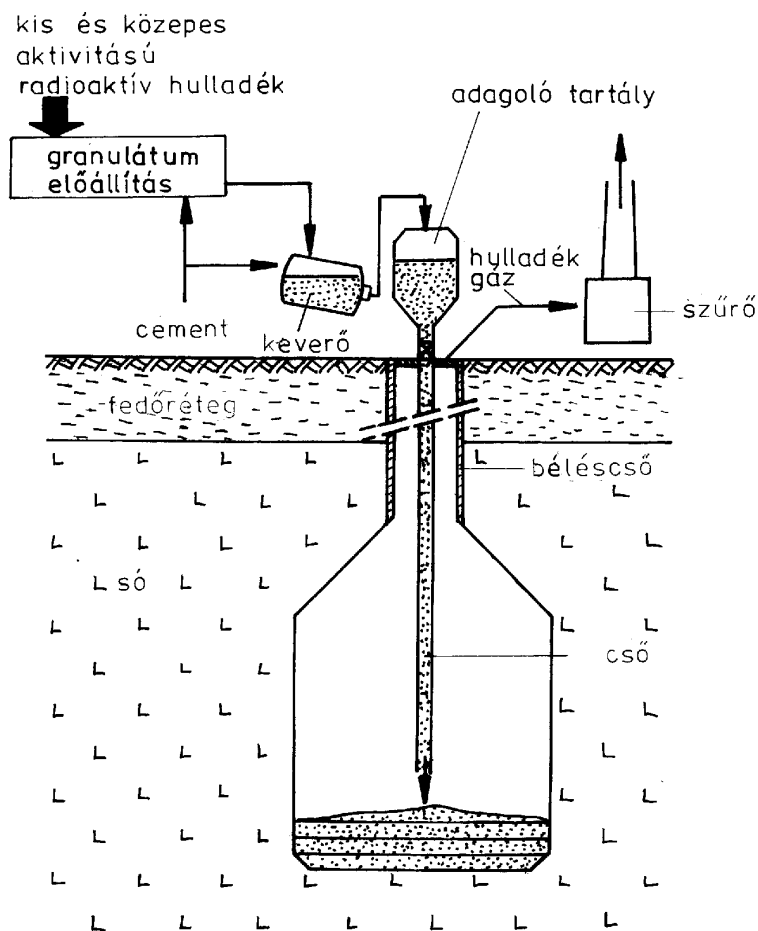
Aknaszerűen kialakított veszélyeshulladék-tároló  
(Terra Rotonde, WIND, 1987.)

- *felszín alatti hulladéklerakók:*
  - = vágatban- (6.6. ábra),
  - = felhagyott bányatérsgben-,
  - = kavernában kialakított (6.7. ábra) hulladéklerakó.



**6.6. ábra**

Kis és közepes aktivitású felszín alatti radioaktív hulladék-lerakó  
(MORFELDT, 1986.)



6.7. ábra

Radioaktív hulladék kavernában történő elhelyezésének a vázlata  
(QUAST et al., 1986.)

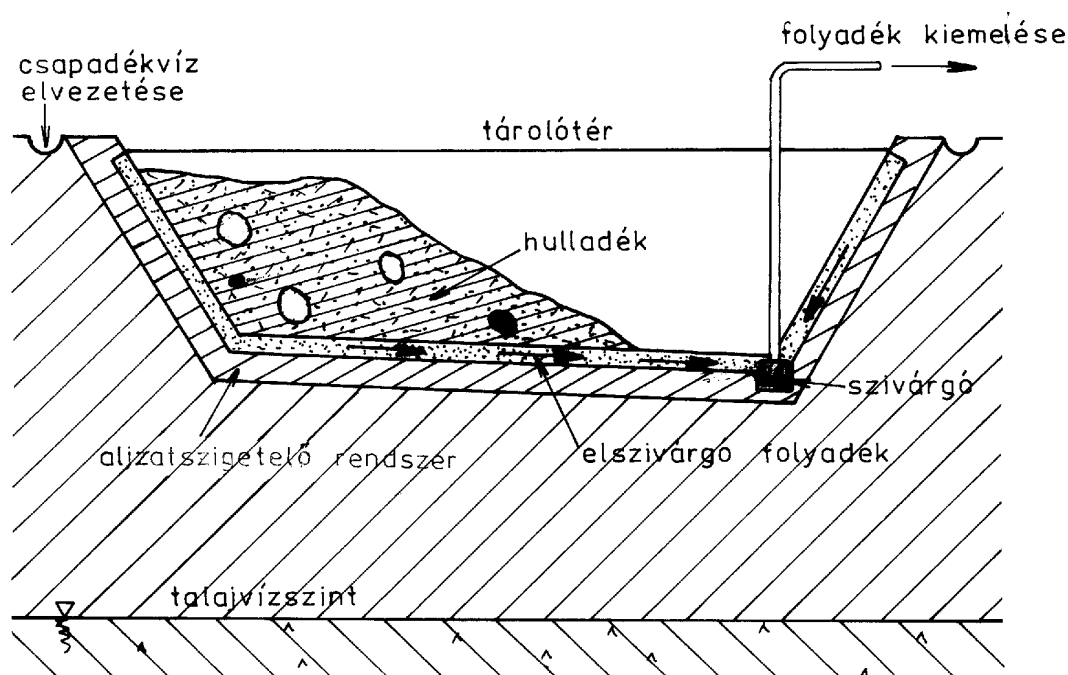
Mint látjuk, a hulladéklerakók kialakítása az adottságoktól, a megkívánt céltól, és a hulladékkezelési, stb. eljárásoktól függően igen széles skálán mozog és igen nehezen sorolható be valamilyen egyszerűsített rendszerbe. Valójában minden egyes lerakónak megvannak a maga sajátosságai, előnyei, hátrányai, s a megfelelő típus kiválasztása az előzőekben már részletesen megismert természeti adottságok (földtani, vízföldtani, geotechnikai), a hulladékgazdálkodás rendszere és a gazdasági lehetőségek együttes mérlegelésével történhet. Mi a továbbiakban elsősorban az *építési mód szerinti tárgyalási sorrendet* követjük.

## 6.2. Feltöltéssel épített hulladéklerakók

### 6.2.1. Depóniakialakítási lehetőségek

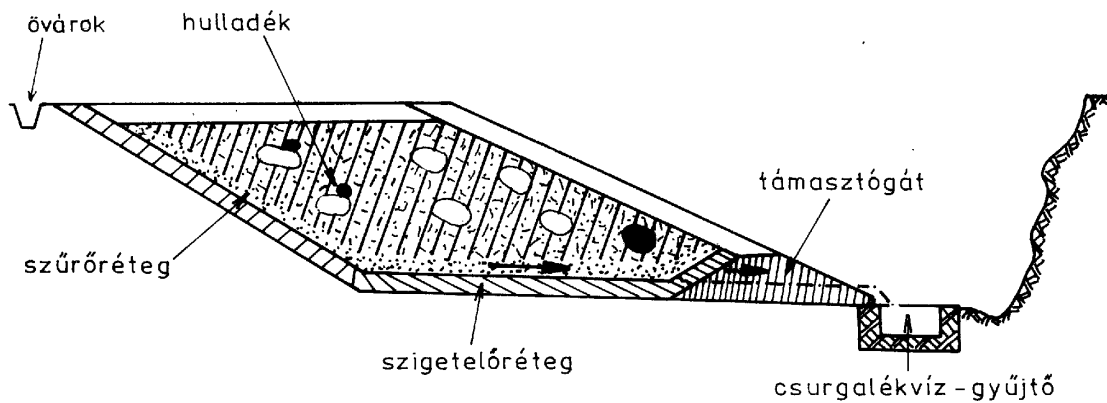
A feltöltéssel épített depónia a leginkább hagyományos forma, és a köztudatban szinte ez a kizárólagosan értelmezett "hulladéklerakás". Az így kialakított depóniák - ellentétben a tárolószerűen kialakítottakkal - nem rendelkeznek teherviselő szerkezeti elemekkel, mivel az oldalhatárolást biztosító védőgátaknak csak másodlagos jelentőségük van. A feltöltéssel kialakított depóniák alaptípusait a 6.2. ábra szemlélteti (BRANDL, 1988.).

A felszínközeli kialakított depóniagödrök tájképileg a leginkább elrejtethők, esetenként a meglévő bányagödrök - ha a megkívánt feltételek biztosíthatók - gazdaságosan kihasználhatók. Legfőbb hátránya ezen kialakítási módnak az, hogy a keletkező csurgalékvíz és az üzemelés során a nyitott részekben bejutó csapadékvíz elvezetése nehézkes, ill. a megoldás jelentős többletberuházást igényel (6.8. ábra), a szabad kifolyás, elvezetés nem biztosított. Mindez egy esetleges szennyeződés állandó kockázatát is jelenti. A megépített aljzatszigetelő rendszer meghibásodása legjobb esetben is csak szektorálisan határolható be, és nehezen lokalizálható. Utólagos javítás csak akkor lehetséges, ha már az építés során megteremtették annak a lehetőségét egy figyelőrendszer és injektáló csövek beépítésével. (l. például a Flotzgrün-i hulladéklerakó kialakítását a 6.96.-6.97. ábrán). Amennyiben az ilyen típusú lerakók kialakítása nem megfelelő, akkor ezek sok esetben a holnap környezeti veszélyt jelentő lerakói lehetnek. Ugyanakkor előnyük, hogy a hulladékterhelés hatására bekövetkező süllyedés nem csökkenti a csurgalékvízgyűjtő-rendszer dréncsőveinek az esését, így annak kialakítása többlet földmunkát sem igényel, szemben a hányószerűen, dombépítési technológiával kialakított lerakókkal. Kompromisszumként elfogadható a részleges feltöltés, megfelelő szivárgóréteg és vízvezetés biztosításával (6.9. ábra). Bizonyos mértékig a völgyfeltöltések is a depóniák ezen kategóriájába tartoznak, azonban a csurgalékvízgyűjtő-rendszer megfelelő kiépítésével és szigeteléssel (természetes, mesterséges) a potenciális környezeti ártalom jelentősen redukálható.



6.8. ábra

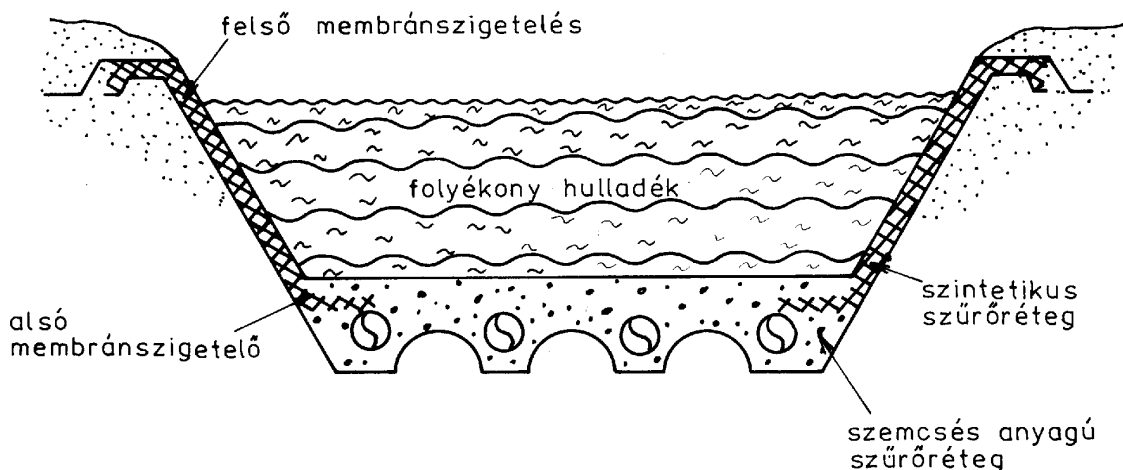
Felszín közelében kialakított tárolóba került csapadék- és csurgalékvíz eltávolítása (FEHÉR, 1984.)



6.9. ábra

Felszínközeli depóniagödör helyes kialakítása és vízvezetése  
(KEMMERLING - MOSTBAUER, 1986.)

A védőgáttal kiemelt *medenceformájú* depóniákat leginkább iszapülepítőként, vagy folyékony és iszapszerű ipari hulladékok tárolására alkalmazzák. Különösen elterjedt az alkalmazása a bányaiparban, az előkészítőműveknél és a kohászatban, főként monodepóniaként. A fenékszivárgónak különösen hatékonyak kell lennie. (6.10. ábra).



6.10. ábra

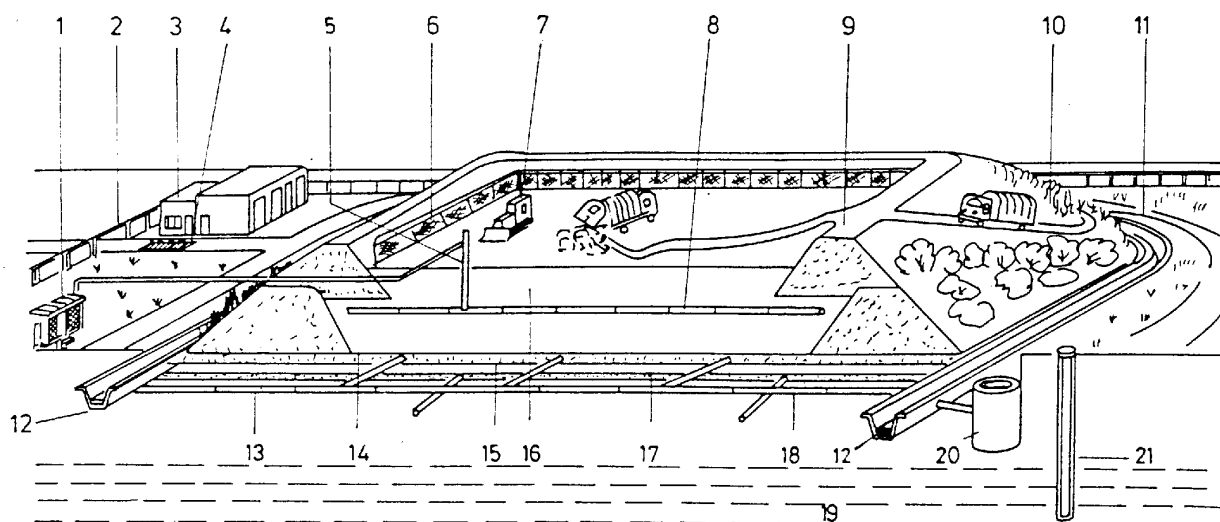
Folyékony és iszapszerű hulladékok tárolására kialakított  
medence formájú depónia  
(BRANDL, 1989.)

A *hányószerűen, dombépítéssel kialakított* depóniák előnye, hogy a hulladéktér gázmentesítése és víztelenítése technikailag viszonylag egyszerűen megoldható és jobban ellenőrizhető, mint a gödör feltöltés. További előny, hogy a domb magasságának a növekedésével az altalaj további konszolidációja révén a szivárgási tényező értéke kedvezően csökkenhet. A dombmagasságot a topográfia és az altalaj teherbíróképessége határozza meg. Így például a hannoveri központi hulladéklerakó 60-120 méterrel magasodik a felszín fölé és végső állapotában mintegy 140 ha területet foglal majd el. Magyarországon az utóbbi években épített vagy tervezett ilyen típusú lerakók hulladékfeltöltési magassága 20-30 m.



A völgyoldalnak támaszkodó depóniák többnyire jól illeszkednek a helyi topográfiai viszonyokhoz és előnyük - a szivárgóaplan nagy esése következtében - a hatékony víztelenítés lehetősége.

Egy-egy hulladéklerakó - kialakításától függetlenül - ma már valóságos nagyüzemnek tekinthető (6.11. ábra). Tervezése, kialakítása különböző területen dolgozó szakemberek összehangolt munkáját kívánja meg. A következőkben áttekintjük a 6.11. ábrán feltüntetett, a lerakó biztonságos üzemelését biztosító, a környezet szennyezését megakadályozó elemeket, rendszereket.



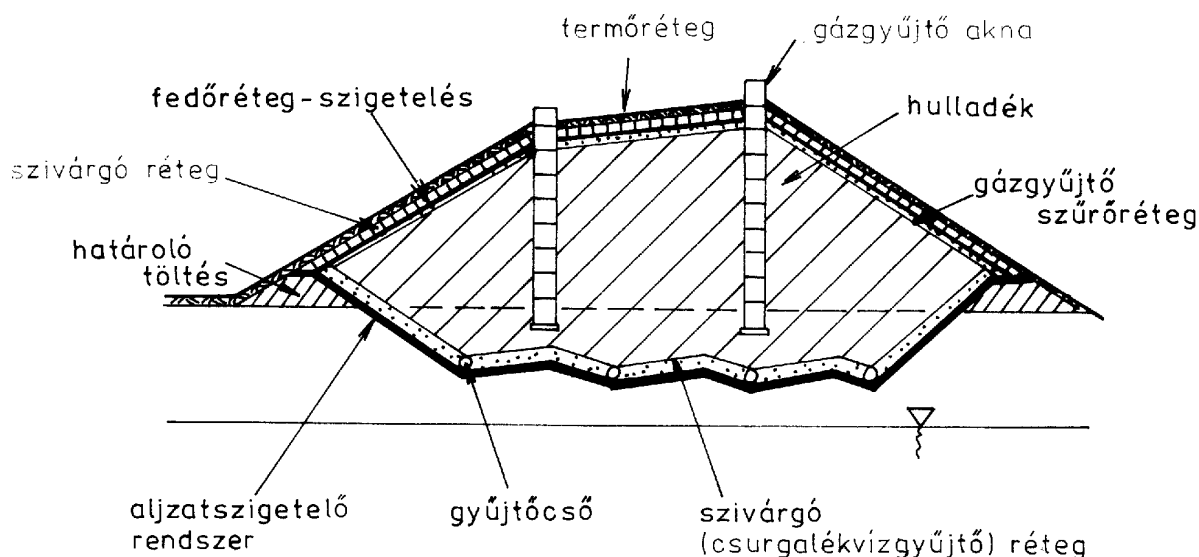
|     |                                |     |                                   |
|-----|--------------------------------|-----|-----------------------------------|
| 1.  | gépház, biogáz-szivattyú       | 12. | vízvezető övárok                  |
| 2.  | bejárat és kerítés             | 13. | szivárgó víz elvezetés            |
| 3.  | bejárat ellenőrzés             | 14. | homokos kavics réteg              |
| 4.  | hídmérleg                      | 15. | talajfeltöltés magas talajvíznél  |
| 5.  | biogázszívó kút szállítócsővel | 16. | tömörített hulladék               |
| 6.  | papírfogó háló vagy palánk     | 17. | homokréteg szivárgóvíz vezetékkel |
| 7.  | hulladéktömörítés              | 18. | vízáró altalaj és műszaki védelem |
| 8.  | biogázgyűjtő vezeték           | 19. | talajvíz                          |
| 9.  | védőtöltés, lezárás            | 20. | víznyelő akna                     |
| 10. | zöld növényzet                 | 21. | talajvíz figyelőkút               |
| 11. | körforgalom                    |     |                                   |

6.11. ábra

A rendezett lerakó lehetséges modellje  
(THOME - KOZMIENSKY, 1987.)

### 6.2.2 A depóniák szigetelése

A depóniák szigetelőrendszere záró- és aljzatszigetelő rendszerből áll, és a kettő együtt a teljes hulladéktömeget körbezárja, a külvilágtól elszigeteli. A körbezárás akkor megfelelő, ha mindkét elem szigetelő hatása tartós, és a szennyező anyagok csak az ellenőrzött csurgalékvíz- és gázgyűjtő és -elvezető vezetékekben lépnek ki. A depóniák szigetelőrendszerének elemeit a **6.12. ábra** szemlélteti.



**6.12. ábra**

Hulladékdepónia szigetelőrendszerének az elemei

Az aljzat-és zárószigetelő rendszernek a következő követelményeknek kell megfelelnie: (STIEF, 1985.; FRANZIUS, 1987.):

- vízzáróság csapadékvízzel szemben, hőállóság 70°C-ig,
- depóniagázokkal szembeni szigetelőképeség,
- depóniaterheléssel (mechanikai, kémiai, biológiai) szembeni ellenállóképesség,
- képes legyen elviselni a bekövetkező süllyedéseket,
- kiszáradással szembeni ellenállóképesség,
- mikroorganizmusokkal, rágszálókkal, a növényzet gyökérzetével szembeni ellenállóképesség,
- erózió- és fagyállóság,
- technikailag egyszerű beépíthetőség,
- az építési- és üzemeltetési fázisban a tömörség és szigetelőképeség ellenőrzésének a lehetősége,
- sérülés, rongálódás esetén javíthatóság,
- gazdaságosság.

A fenti követelményrendszer igen komoly kívánalmakat támaszt mind a záró-, mind pedig az aljzatszigeteléssel szemben, amelynek minden egyes elemét a szigetelőrendszerek többsége nem tudja teljesíteni. Valójában azt kell mérlegelni, hogy az adott helyzetben melyek azok az engedmények, amelyek még elfogadhatók, anélkül hogy azok ne menjenek a biztonság rovására.

### **6.2.2.1. Az aljzatszigetelő rendszer**

Ahhoz, hogy az aljzatszigetelés a vele szemben támasztott követelményeknek megfeleljen, annak a mai felfogás szerint egy *többrétegű, szivárgóréteget is tartalmazó egységes rendszernek* kell lennie. Általában megkülönböztetünk:

- természetes anyagú (agyag, adalékanyaggal kevert talajok) szigeteléseket,
- mesterséges anyagú szigeteléseket (műanyag, bitumen stb.) és
- a kettő kombinációját.

Az aljzatszigetelő rendszer *tervezésének* lényeges szempontjai a következők (BRANDL, 1988.):

- a szigetelőrendszer *többrétegű* legyen, amelynek alapvetően eleme egy természetes anyagú szigetelőréteg és további anyagok, szigetelőrétegek alkalmazása szükség szerint,
- hatékony szivárgórendszer kerüljön beépítésre, ami a csurgalékvizek gyűjtésére, elvezetésére és ellenőrzésére szolgál,
- minimális hidraulikus gradiens a szigetelőrétegen,
- az aljzatszivárgók és dréncszövek megfelelő eséssel rendelkezzenek,
- kis hőmérséklet a depóniaaljazaton.

A depóniaaljazaton fellépő nagy hőmérséklet ugyanis kedvezőtlen, mivel az elősegíti a szennyezőanyagok átáramlását a szigetelőrétegen, másrészt felléphetnek száradási repedések is, amelyek úgyszintén kedvezőtlenek a vízzáróság szempontjából. Ezért kívánalom, hogy *nagy reakcióhőt termelő anyagok ne kerüljenek* közvetlenül a depónia aljzatszigetelő rendszere közvetlen közelébe. További elméleti lehetőség a depóniaaljazat hűtése (pl. a felső szivárgórétegen keresztül, kívülről bevezetett vízzel), azonban a gyakorlatban ez nem kívánatos megoldás.

#### **6.2.2.1.1. Természetes anyagú szigetelők**

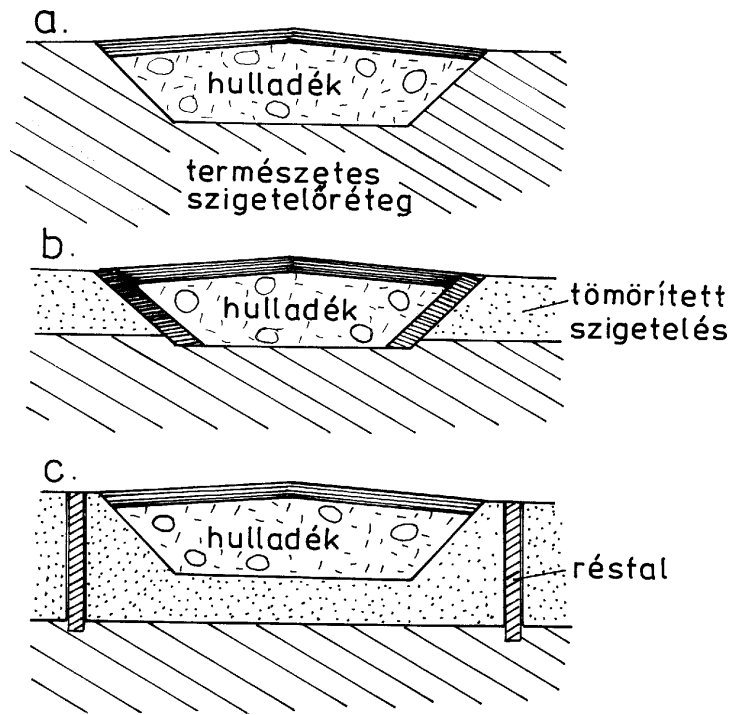
A természetes anyagokkal történő szigetelés ma kétségtelenül a legolcsóbb megoldásnak tűnik. A mesterséges szigetelőanyag megtakarítása mellett további előnye, hogy *elvileg* a szigetelő hatás korlátlan ideig fennáll, bár ezt az 5.4.5.2. fejezetben igen részletesen tárgyalt szigetelőanyag-csurgalékvíz kompatibilitási összefüggések erősen megkérdőjelezzik. Éppen ezért, csakis természetes anyagú szigetelő vagy szigetelőrendszer alkalmazására csak akkor kerülhet sor, ha azt az előírások megengedik és a geotechnikai kérdésekkel foglalkozó fejezetben felvetett problémákra egyértelmű választ tudunk adni, azaz ismernünk kell a következőket:

- közetfizikai jellemzők,
- az ásvány-kőzettani összetétel,
- a hulladékból a szigetelőrétegre jutó terhelés (fizikai, kémiai, biológiai),
- a szigetelőréteg tömörsége ill. tömöríthetősége,
- a szivárgási tényező: mind helyszíni, mind laboratóriumi vizsgálatok alapján,
- a szivárgási tényező- és a tömörség kapcsolata, adott szivárgási tényező eléréséhez szükséges tömörítő munka és a tömörítés módja,
- a szigetelőréteg ellenállóképessége az ismert vagy becsült csurgalékvíz összetétellel szemben.

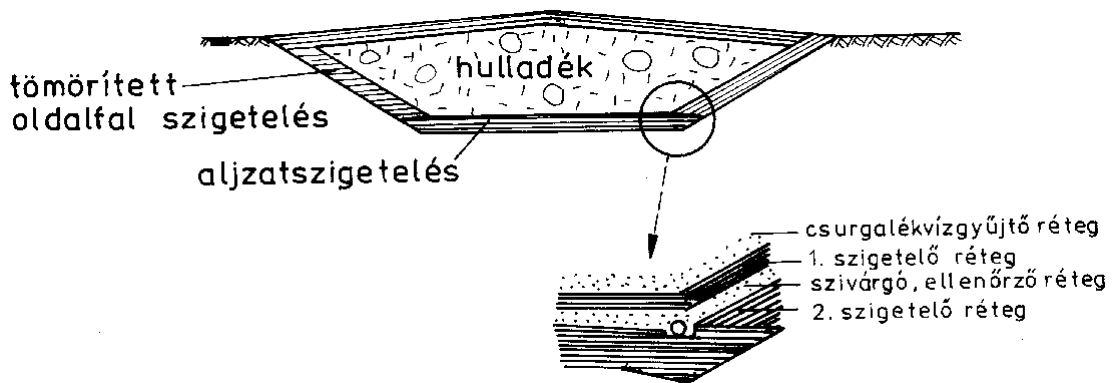
A természetes anyagú szigetelők lehetnek:

- természetes környezetben kialakított szigetelők,
- természetes anyagból kialakított (épített, tömörített) szigetelők és
- a kettő kombinációja.

Mindkét típusra láthatunk példát a **6.13. és 6.14. ábrákon** (DANIEL, 1987.). A természetes anyagból kialakított tározók (földmedrű tározók) többnyire hidraulikai gátakból és szűrőrétegekből kialakított rendszerek, amelyeknél a szigetelőréteg a jó vízzáró agyag mellett készülhet kevert anyagból, pl. iszapos homok vagy iszapos homokos kavics és bentonit előre-, kísérletileg meghatározott arányú keverékéből. A természetes környezetben kialakított tározók lehetnek vízvezető és vízzáró kőzetben kialakítottak, az előzőnél azonban további védelemre is szükség van, pl. vízzáró résfal, függönyfal beépítésével.



**6.13. ábra**  
Természetes anyagú szigetelők  
(DANIEL, 1987.)



**6.14. ábra**  
A tömörített szigetelőrétegek típusai  
(DANIEL, 1987.)

Amennyiben a geotechnikai előmunkálatok során gondosan jártunk el, a szükséges minősítő vizsgálatokat elvégeztük, akkor a szigetelőréteg tervezése során a probléma leegyszerűsödik, s az alábbi kérdésekre kell választ adnunk:

- melyik lesz az a réteg (akár természetes, akár mesterségesen beépített), amely az előírásokban szereplő *minimális szivárgási tényező értéket* (minden ismert vagy becsült hatással szemben!) biztosítani tudja;
- a szigetelőréteg beépítése, kivitelezési előírásai, az ellenőrző vizsgálatok;
- a szigetelőréteg-rendszer felépítése;
- a szükséges szigetelőréteg vastagság.

A **szigetelőréteg anyagának** kiválasztásakor alapvető szempont, hogy az természetes állapotában vagy beépítés után - figyelembe véve a meghatározás körülményeihez képest a depónia üzemelése során fellépő változásokat - a megkívánt vízzáróságot biztosítsa. Ezt a kritériumot, mint tudjuk a hulladék jellegétől, minőségétől és veszélyességi osztályától függő *minimális szivárgási tényező értékkel* adják meg. A megkívánt érték, mint azt a korábbiakban láttuk, a depónia altalajára  $10^{-7} - 10^{-8}$  m/s, a szigetelőréteg anyagára pedig  $10^{-9} - 10^{-10}$  m/s érték közé esik. A szabályozásra vonatkozó információk a 6.2.2.1.4. fejezetben található.

Az *anyagyerőhely* kiválasztásánál mindig felmerül a kérdés, milyen talajok a legkedvezőbbek a szigetelőréteggént való beépítés szempontjából. Ha a vízzáróságot nézzük, akkor a minél nagyobb agyagásványtartalmú, a különösen nagy montmorillonit tartalmú, tehát a nagy plasztikus indexű ( $I_p$ ) agyagok jönnek számításba. Ugyanakkor az is ismert, hogy minél nagyobb az  $I_p$  értéke, annál nehezebben tömöríthető a talaj, valamint annál inkább hajlamos a víztartalom változás hatására bekövetkező zsugorodásra. Mint látható, az optimális megoldást a kis- és közepes plaszticitású, de megfelelő agyagásványtartalmú és adszorpciós kapacitású iszap-agyag talajok adják.

Hazai szabályozás a szigetelőrétegbe való beépíthetőségi kritériumra nincs, de a töltésképző anyagként való alkalmasságra általánosan elfogadott a **6.1. táblázat** szerinti minősítés (MOSONYI-PAPP, 1959.). Ez az ajánlás gyakorlatilag szinte egybeesik a mai nemzetközi gyakorlatban elfogadott értékekkel, amit a **6.2. táblázat** foglal össze (BAGCHI, 1989.).

6.1. táblázat

| <i>A kötött talajok alkalmassága töltésepítésre (MOSONYI-PAPP, 1959.)</i> |                                       |                                  |                       |                       |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Minősítés                                                                 | Talaj                                 | $\rho_d$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | w <sub>L</sub><br>(%) | I <sub>p</sub><br>(%) |
| Jó                                                                        | Iszap, homokos sovány agyag           | 1,8-2,0                          | < 35                  | <15                   |
| Megfelelhet                                                               | Agyag                                 | 1,7-1,9                          | < 55                  | 15-30                 |
| Alkalmatlan                                                               | Kövért agyag, szikes és szerves talaj | 1,5-1,8                          | > 55                  | > 30                  |

6.2. táblázat

| <i>A kötött talajok alkalmassága a szigetelőrétegbe való beépítés szempontjából (BAGCHI, 1989.)</i> |                                    |                       |                       |                                |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Minősítés                                                                                           | Talaj                              | w <sub>L</sub><br>(%) | I <sub>p</sub><br>(%) | S <sub>D&lt;0,002</sub><br>(%) | Agyagásvány-<br>tartalom |
| Kedvező                                                                                             | Agyag (sovány, közepes)            | ≥ 30                  | ≥ 15                  | > 20                           | > 10                     |
| Megfelelő                                                                                           | Iszap, homokos, homoklisztes agyag | 25-30                 | 10-15                 | > 20                           | > 10                     |

A belgiumi tapasztalatok alapján VAN IMPE és BOUAZZA (1995.) a szigetelőanyag megválasztásánál az alábbi paraméterek figyelembevételét javasolják:

- az agyagfrakció mennyisége: .....  $\geq 30\%$
- plasztikus index: .....  $20\% < I_p < 30\%$
- 5-50 mm közötti szemcsefrakció mennyisége: .....  $\leq 30\%$
- tömörítési víztartalom ( $w_{be}$ ) a rétegenkénti tömörítésnél: .....  $18\% < w_{be} < 20\%$

A viszonylag kis plaszticitású ( $I_p = 10-15\%$ ) iszapok, homokos-homoklisztes agyagok is alkalmasak lehetnek, ezen talajoknál is biztosítható a megfelelő vízzáróság, és relatíve könnyen is tömöríthetők. Ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy ezek a talajok igen érzékenyek - az elért szivárgási tényező tekintetében - az optimális tömörítési víztartalomtól való, a megengedettnél nagyobb mértékű eltérésre. Az alkalmasságot minden esetben az 5. fejezetben leírt laboratóriumi és helyszíni vizsgálatokkal kell igazolni.

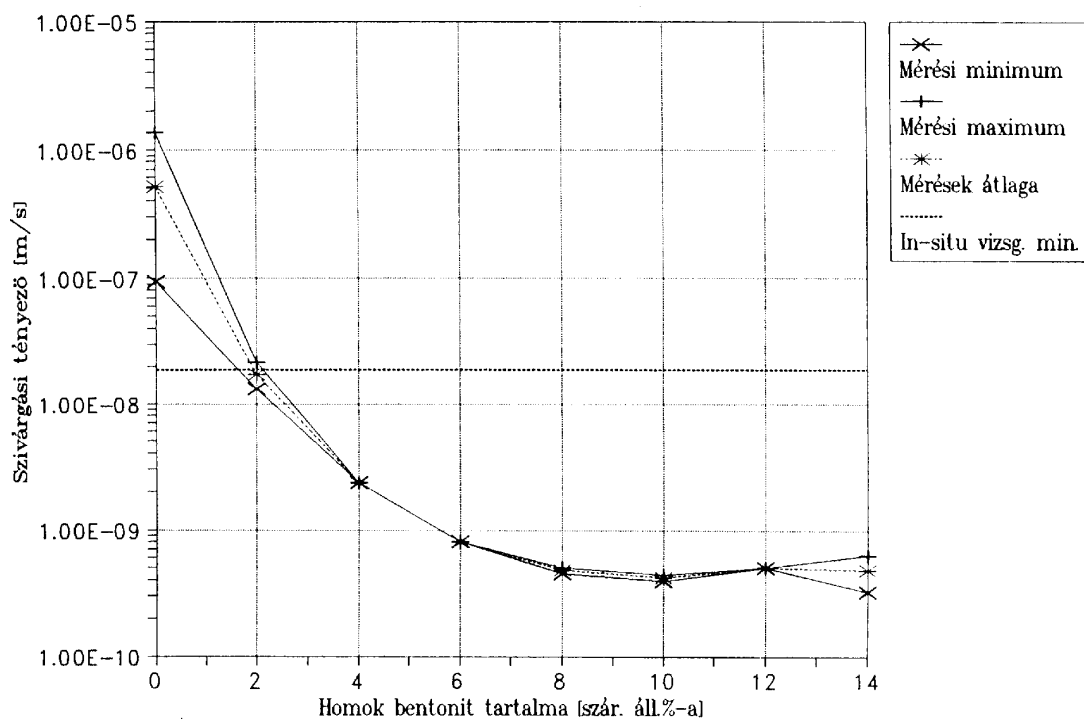
Amennyiben a természetes településű kőzetek, illetve egy gazdaságosan hasznosítható anyagnyerőhely talaja a megkívánt vízzáróságot nem tudja biztosítani, vagy a megítélés számos bizonytalansági tényezőt tartalmaz, felvetődhet a *természetes anyagból készült keverék beépítése*. Szigetelőanyagként iszapos homok és iszapos homokos kavics *bentonit adalékkal* való keveréke jöhet elsősorban számításba. Különösen gazdaságos lehet ez a módszer, ha az alapanyag biztosítása kis szállítási távolsággal megoldható. A *módszer előnye* - a szigorú technikai előírások betartása (a keverés homogenitása, víztartalom, adalékanyag tartalom %) esetén -, hogy a beépített szigetelőréteg várható viselkedése jól becsülhető. A megkívánt szigetelőképeséget biztosító keverék összetétel laboratóriumi úton, kísérletsorozattal határozható meg. A tapasztalat azt mutatja, hogy már viszonylag kis adalékanyag hozzáadással is jelentős szivárgási tényező csökkenés érhető el. A **6.15. ábra** egy ipari szennyvíztároló aljzatszigetelésének kijavításához finom homok-bentonit keverék szivárgási tényezőjének a laboratóriumi vizsgálati eredményeit mutatja be. Mint látható már mintegy 6%-nyi bentonit adagolással is biztosítható a  $k < 10^{-9}$  m/s vízzárósági feltétel. Még a viszonylag durva szemcsés talajoknál is néhány (6-10)% bentonit adagolással jelentős szivárgási tényező csökkenés érhető el (**6.16.-6.17. ábrák**).

A gyakorlatban a bentonit súlyaránya mindig *nagyobb, mint 3%*, amit egyrészt a technológiai minőségigadozás, másrészt a szigetelőréteg jobb beépíthetősége és az adszorpciós kapacitás növekedése indokol. A keverési és beépítési munkafolyamat együttes idejének ( $\Delta t$ ) a

$$0,5h \leq \Delta t \leq 2 + 3h$$

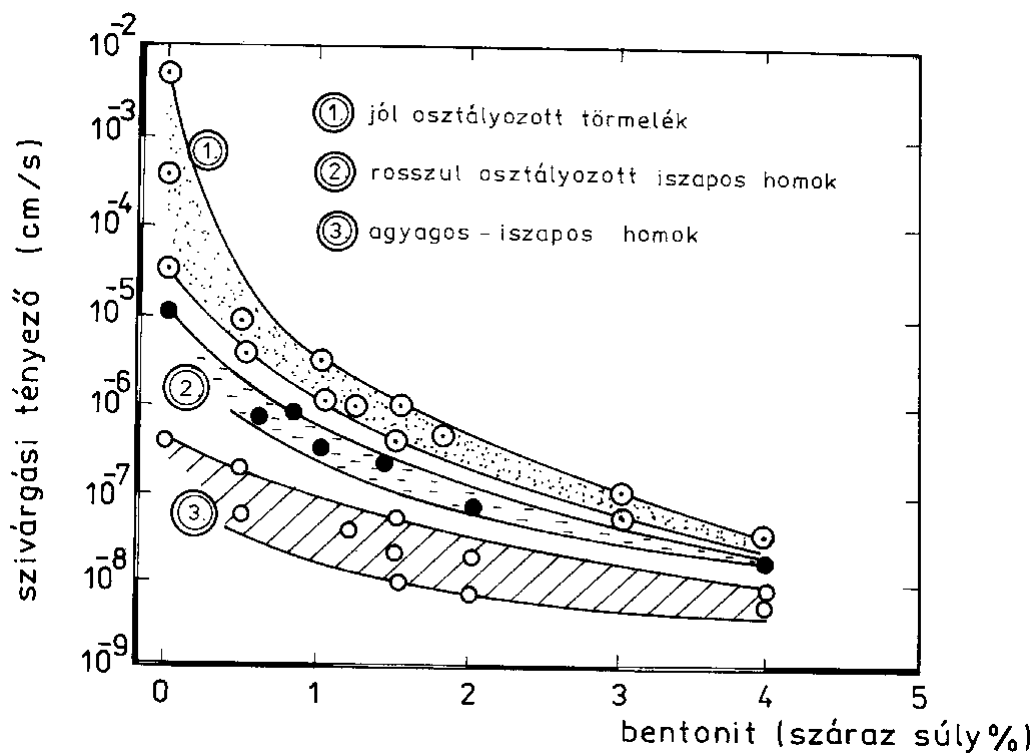
intervallumba kell esnie (a bentonit aránytól és a víztartalomtól függően), mert

- a keveréknek a beépítés előtt időre van szüksége a kezdeti reakcióhoz,
- a keverési és beépítési időnek sem szabad túlságosan hosszúnak lennie.



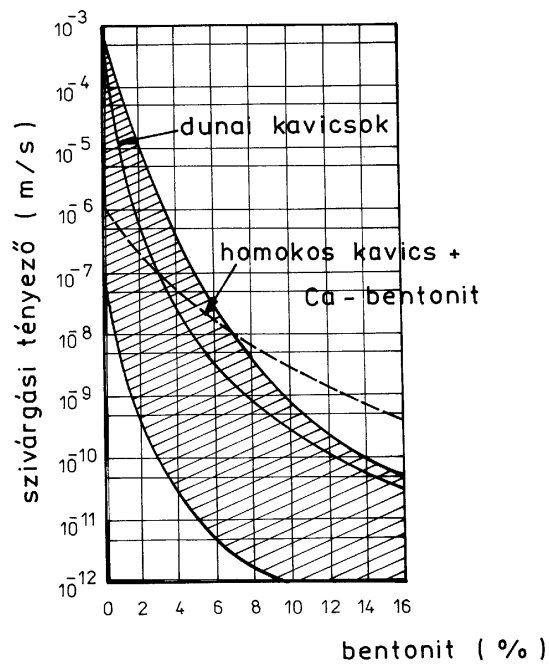
6.15. ábra

Finom homok-bentonit keverékek szivárgási tényezőjének változása (Szennyvíztároló-tó, Vaja)



6.16. ábra

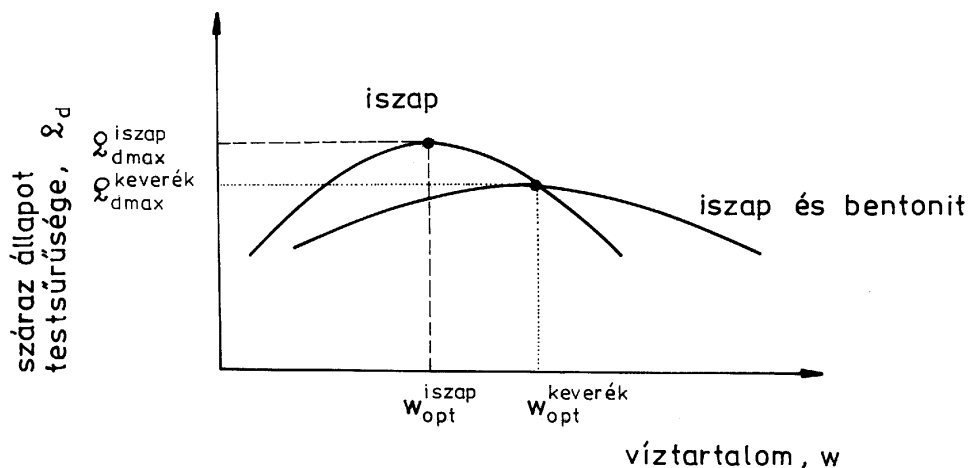
Különböző szemcsés anyagok szivárgási tényezőjének változása bentonit hozzáadásával (D'APPOLONIA, 1980.)



6.17. ábra

Homokos kavics és kavicsos homok szivárgási tényezőjének változása bentonit hozzáadásakor  
( $T_{rp}=100\%$ )  
(BRANDL, 1989.)

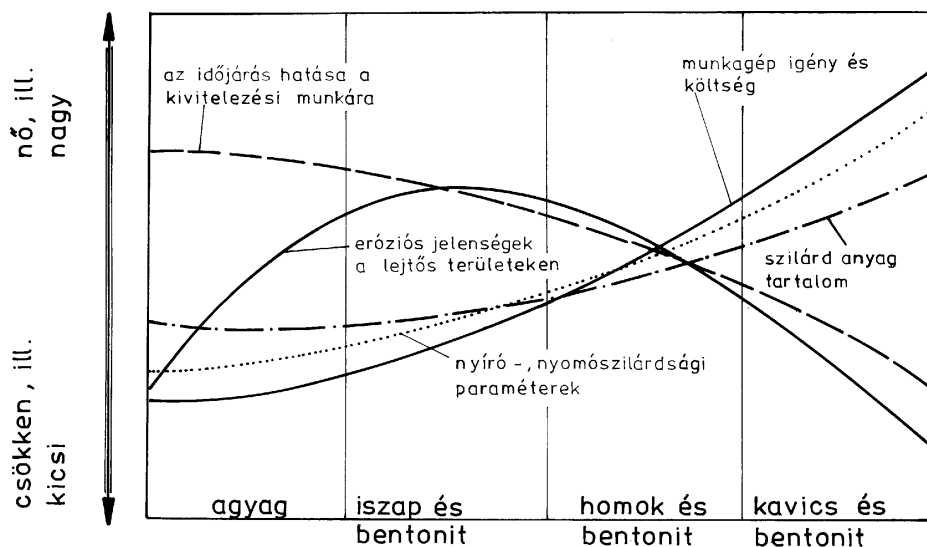
A keverékek beépítési paramétereit mindig egyedileg kell megvizsgálni, mert a bentonit adagolással változik a beépítés optimális víztartalma (nő) és az elérhető száraz állapot testsűrűség értéke (csökken), mint ahogy azt a 6.18. ábra szemlélteti. Néhány jellemző paraméter alakulásának a tendenciáját mutatja a 6.19. ábra. Mint látható, az agyagból készült szigetelőrétegekhez viszonyítva a keverékeknél kedvezőbb a nyírószilárdsági paraméterek értéke, valamint az időjárásfüggőség a kivitelezési munkáknál, de ugyanakkor nő a munkagépigény és a költség.



6.18. ábra

Az optimális beépítési jellemzők bentonit adagolás hatására történő megváltozása  
(WEINMANN, 1990.)

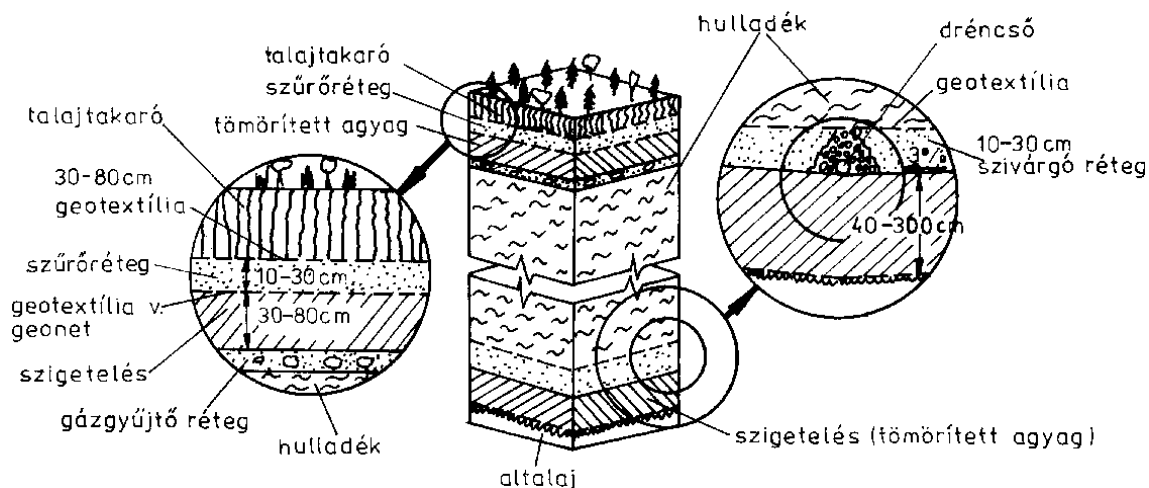




6.19. ábra

Néhány jellemző paraméter alakulása az agyagból, illetve különböző talaj-bentonit keverékből épített szigetelőrétegnél (WEINMANN, 1990.)

Az agyagból készült aljzatszigetelő rendszer felépítését a 6.20. ábra szemlélteti egy, az amerikai előírásoknak megfelelő metszet bemutatásával. A szivárgóréteg és a hulladék közé egy *geotextília szűrő* kerül az eltömődés és bemosódás megakadályozása érdekében. A geotextília réteg helyett beépíthető egy finomabb szemcséjű védőréteg is, ekkor a méretezésnél a *szűrőszabályt* (l. 6.2.2.1.3. fejezetben) be kell tartani. A szigetelőrétegnak és a felette lévő szivárgórétegnak megfelelő eséssel kell rendelkeznie a gyűjtőcsövek felé.



6.20. ábra

Agyag szigetelésű hulladéktároló metszete és javasolt méretei (OAKLEY, 1987.)

### A szigetelőréteg beépítése, kivitelezési előírások:

Mint a geotechnikai vizsgálatokkal foglalkozó fejezetben láttuk, a szigetelőréteg tömörsége alapvetően meghatározza a szivárgási tényezőt, ezért megfelelő eredményt csak az előírásokat messzemenően figyelembe vevő kivitelezéstől várhatunk. Ennek megfelelően a következők betartása szükséges:

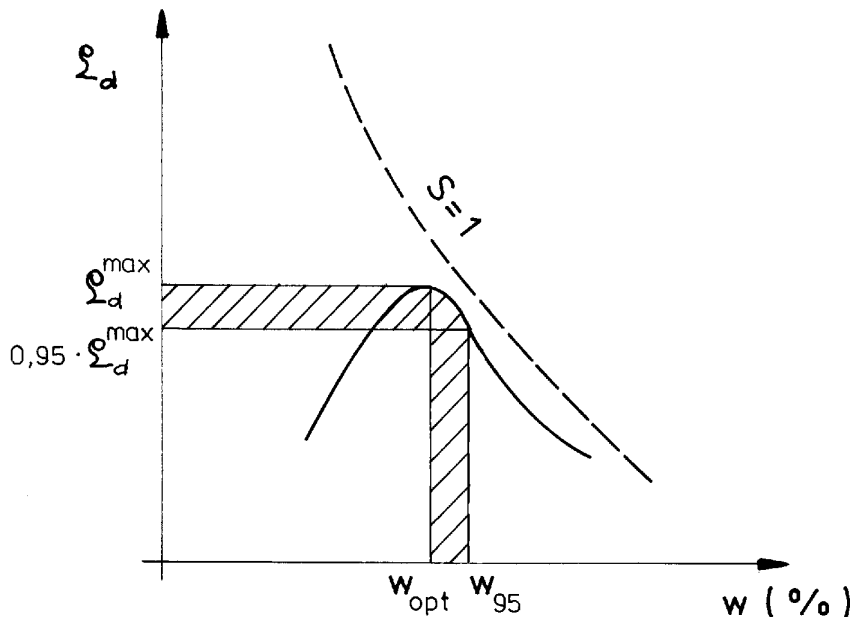
- A helyben készített szigetelőrétegnél a *tömörítés rétegenként* történjék, s az egyes rétegek vastagsága ( $d$ ) tömörített állapotban:

$$20 \text{ cm} < d < 25 \text{ cm}$$

legyen. 25 centimétert meghaladó (max. 30 cm) rétegvastagság esetleg optimális viszonyok esetén (megfelelő szemcseeloszlás, kedvező víztartalom, központi keverőtelep, hatékony tömörítőgépek) engedhető meg.

- A *beépítési víztartalom néhány százalékkal a Proctor vizsgálattal meghatározott optimális érték fölött legyen* (a beépítés a Proctor görbe "nedves" ágának megfelelő legyen), mivel így kedvezőbb agyagszerkezet (v.ö. **5.12. ábra**) és kisebb szivárgási tényező érhető el (v.ö. **5.13.-5.14. ábrákat**). A kedvező beépítési víztartalomra érvényes kritérium (**6.21. ábra**).

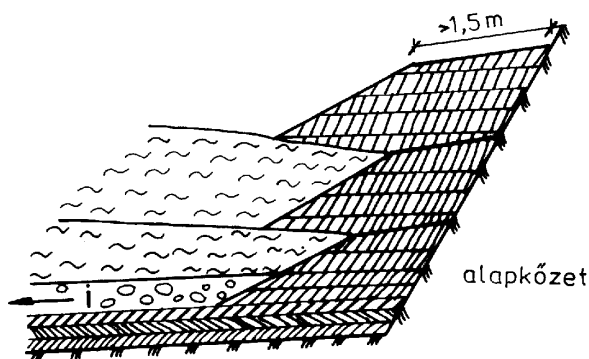
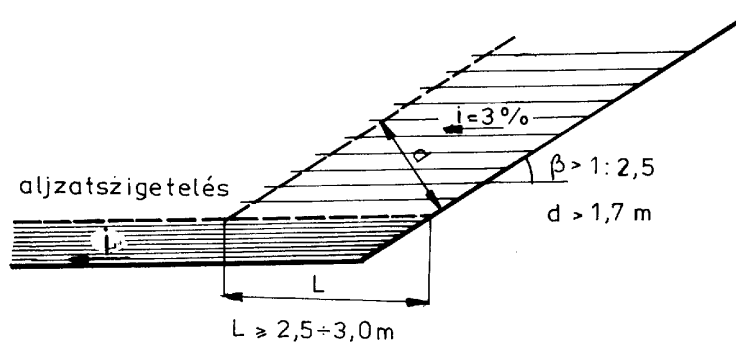
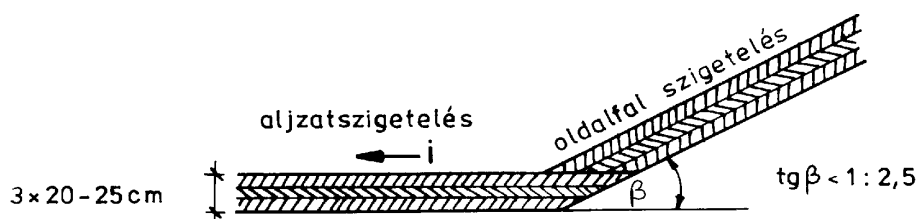
$$w_{\text{opt}} < w_{\text{beépített}} < w_{95}$$



**6.21. ábra**

A szigetelőréteg beépítésénél javasolt beépítési víztartalom

- A *beépítési technológiára* a földművek építésénél és az út-, vízepítésnél alkalmazott előírásokat teljes egészében átvehetjük. Alapvető, hogy a tömörítés átgúrással (elsősorban juhlábhengerekkel) történjen, majd az utolsó fázisban az egyenetlenségek megszüntetésére (és nem tömörítési céllal!) egy simafalú hengerrel történő tükrökiképzés következik, csökkentendő a mesterséges szigetelőrétegre (pl. geomembrán) jutó egyenlőtlen terhelést.
- Az oldalfal-szigetelés beépítése a fal meredekségétől függően a **6.22. ábra** szerint történhet.



6.22. ábra

Az oldalfal-szigetelés rétegeinek a beépítése különböző meredekségű támasztófelületek esetén

A fenti beépítési szabályok értelemszerűen vonatkoznak a kombinált szigetelőrendszereknél a geomembrán, vagy aszfalt réteg alá kerülő természetes anyagú rétegek beépítésére is (lásd pl. 6.50. ábrát).

A beépített rétegek kivitelezésének az ellenőrzését és a szigetelőréteg minősítését az 5.5. fejezet tartalmazza.

**A szigetelőréteg vastagságának a meghatározására** többféle lehetőség van. Alapvetően az a helyes meghatározási mód, amely mind a hulladék, illetve a hulladékból kijutó csurgalékvíz, mind pedig a szigetelőréteg jellemzőit figyelembe veszi.

Az alábbiakban ismertetendő módszerek értelemszerűen alkalmazhatók a természetes településű rétegek védőképességének a megítélésére is. Ugyancsak el kell végezni ezen vizsgálatokat abban az esetben is, ha a lerakó helyén az altalajjal szemben támasztott követelmények (l. a 4.3. fejezetben) nem teljesülnek, s így a védőképességet egy egyenértékű, de épített természetes anyagú réteggel kell biztosítani.

OLZEM (1985.) a minimálisan szükséges szigetelőréteg vastagság meghatározását a laboratóriumban meghatározott küszöbesés ( $i_0$ ) alapján a következőképpen javasolja:

$$d = \frac{\Delta h}{i_0 - 1} \quad (6.1.)$$

ahol

$\Delta h$ : a szigetelőréteg feletti folyadékoszlop magassága.

Hasonló fizikai megfontoláson alapul az amerikai szabvány (ASTM, 1987.), de a szükséges szigetelőréteg vastagság meghatározását az *átjutási idő* figyelembevételével javasolja. Az átjutási időt a 6.2. összefüggés alapján határozhatjuk meg:

$$t = \frac{d^2 \cdot n}{k(d + h)} \quad (6.2.)$$

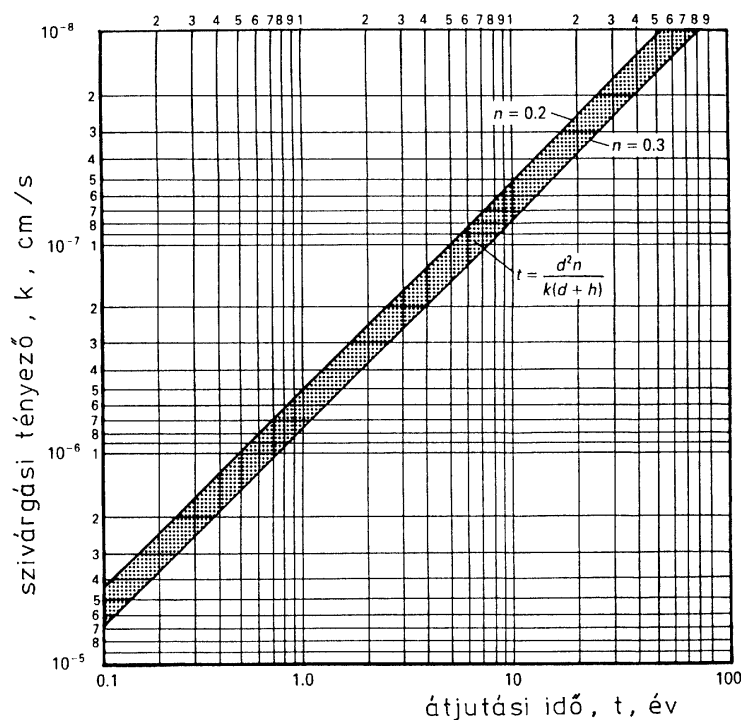
ahol

- t: az átjutási idő,
- d: a szigetelőréteg vastagsága,
- h: a hidraulikai nyomómagasság,
- k: a szivárgási tényező és
- n: az effektív hézagterfogat.

A **6.23. ábra** 1 m vastag agyagréteg esetén szemlélteti az átjutási idő változását a szivárgási tényező és az effektív hézagterfogat függvényében.

A fenti szigetelőréteg-vastagság meghatározások valójában azon alapulnak, hogy a szennyeződés az átáramló folyadékkal együtt jut át a szigetelőrétegen (konvektív transzport). A valóságban azonban a szennyeződés átjutása (vagy át nem jutása) egy bonyolult folyamat eredménye, amelyben a *konvekció mellett szerepet játszik a diszperzió, az adszorpció és a degradáció* is (KINZELBACH, 1986.). Mint már az **5.43. ábrán** is láttuk, az egyes ionoknak eltérő a mozgékonyasága, s így egy adott koncentráció eléréséhez szükséges átjutási ideje is.

SHACKELFORD (1990.) dolgozott ki megoldást, amelyben a fentieket figyelembe veszi, s a méretezés során választ tudunk adni, hogy adott csurgalékvíz-koncentráció esetén mekkora szigetelőréteg vastagságra van szükség ahhoz, hogy adott idő alatt az átjutó folyadék koncentrációja egy megkívánt érték (pl. szabvány) alatt maradjon.



6.23. ábra

A szennyezőanyag átjutásához szükséges idő 1 m vastag agyagréteg és 0,3 m nyomómagasság esetén

A vizsgálatot nyilvánvalóan a csurgalékvízben előforduló, vagy várhatóan előforduló elemekre külön-külön kell elvégezni.

A megoldást telített porózus közetekben közelítőleg az oldott anyagra vonatkozó *egydimenziós advektív-diszperzív transzport egyenlet* segítségével kaphatjuk (ROWE, 1987.):

$$\frac{n \partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial c} \left( n \cdot D^* \frac{\partial c}{\partial t} \right) \frac{\partial}{\partial t} (n \cdot v \cdot c) \quad (6.3.)$$

ahol

- $n$  : hézagterefogat,
- $c$  : az oldat koncentrációja  $t$  idő múlva,
- $D^*$  : diffúziós együttható,
- $v$  : a tényleges keresztmetszetre számított áramlási átlagsebesség,
- $t$  : az idő.

$$D^* = D_{\text{eff}} + D_m$$

ahol

- $D_{\text{eff}}$ : effektív diffúziós együttható,
- $D_m$ : mechanikai diffúziós együttható ( $10^\circ\text{C}$ -on  $D_m = 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s érték használata elfogadott (KINZELBACH, 1986.).

A 6.2. egyenlet megoldása

$$\frac{c}{c_0} = \frac{1}{2} [\operatorname{erfc}(z_1) + \exp(z_2) \cdot \operatorname{erfc}(z_3)] \quad (6.4.)$$

ahol:

c: az oldat koncentrációja a szigetelőbe való belépéskor

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-\xi^2) d\xi \quad (6.5.)$$

$$\operatorname{erfc}(z) = 1 - \operatorname{erf}(z) \quad (6.6.)$$

$$z_1 = \frac{x - v_s t}{2\sqrt{D^* \cdot t}} \quad (6.7.)$$

$$z_2 = \frac{v_s \cdot x}{D^*} \quad (6.8.)$$

$$z_3 = \frac{x + v_s \cdot t}{2\sqrt{D^* \cdot t}} \quad (6.9.)$$

ahol

x: a szigetelőréteg felszínétől mért távolság

A 6.4. kifejezés a koncentráció (c), az úthossz (x) és az idő (t) közötti összefüggést fejezi ki. Bennünket az érdekel, hogy egy adott koncentráció (csökkenés) eléréséhez adott időtartam (a depónia szigetelőképességének megkívánt időtartama, mai gyakorlat szerint 30-50 év) alatt mekkora úthosszra van szükség, ami nem más, mint a szükséges szigetelőréteg vastagság (L). A 6.7.-6.9. kifejezéseket dimenzió nélküli paraméterekkel felírva kapjuk:

$$z_1 = \frac{1 - T_R}{2\sqrt{T_R / P_L}} \quad (6.10.)$$

$$z_2 = P_L \quad (6.11.)$$

$$z_3 = \frac{1 + T_R}{2\sqrt{T_R / P_L}} \quad (6.12.)$$

ahol:

$$T_R = \frac{v_s \cdot t}{R_d \cdot x} = \frac{v_R \cdot t}{x} = \frac{v_R \cdot t}{L} \Big|_{x=L} \quad (6.13.)$$

$$P_L = \frac{v_s \cdot x}{D^*} = \frac{v_s \cdot L}{D^*} \Big|_{x=L} \quad (6.14.)$$

Az

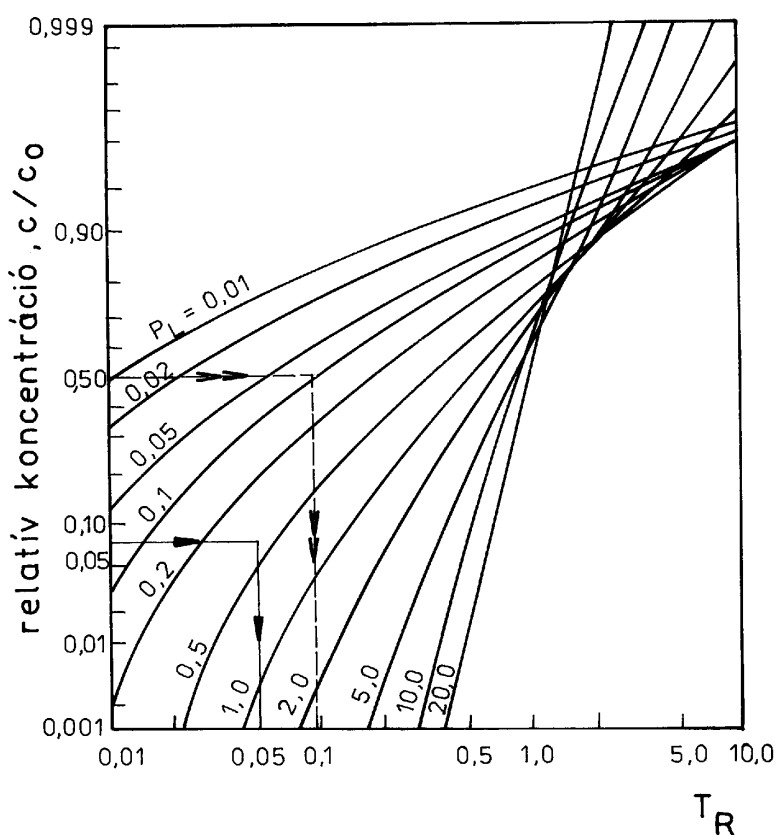
$$R_d = \frac{v_s}{v_R} \quad (6.15.)$$

a retardációs tényező, nem adszorbeálódó elemekre  $R_d = 1$ , egyébként  $R_d > 1$ .

A fentiek alapján a 6.4. kifejezés a következőképpen módosul:

$$\frac{c}{c_0} = \frac{1}{2} \left[ \operatorname{erfc} \left( \frac{1 - T_R}{2\sqrt{T_R/P_L}} \right) + \exp(P_L) \cdot \operatorname{erfc} \left( \frac{1 + T_R}{2\sqrt{T_R/P_L}} \right) \right] \quad (6.16.)$$

A 6.16. összefüggést szemlélteti a **6.24. ábra**, amit a méretezésnél is jól tudunk használni.



**6.24. ábra**

A relatív koncentráció ( $c/c_0$ ) és a  $T_R$ ,  $P_L$  dimenzió nélküli paraméterek kapcsolata (SHACKELFORD, 1990.)

A méretezés menete:

- becsüljük a szigetelőréteg vagy védőréteg vastagságát ( $L$ ),
- meghatározzuk a

$$P_L = \frac{v_s \cdot L}{D^*} \text{ értékét,}$$

- a  $c/c_0$  és  $P_L$  ismeretében a 6.24. ábrából megkapjuk  $T_R$  értékét,

- a  $t_1 = \frac{T_R \cdot R_d \cdot L}{v_s}$  összefüggésből az átjutási idő számítható,
- összehasonlítjuk, hogy  $t_1 > t_{szüks.}$  fennáll-e,
- ha nem, az L újabb becsült értékével a számolást megismételjük.

A szigetelőréteg vastagságának a méretezésére nézzünk meg egy példát. Az 5.43. ábra alapján határozzuk meg a  $K^+$  és  $Cl^-$  ionok egy adott vastagságú szigetelőrétegen való átjutási idejét. Mint látható,  $Cl^-$  esetén - kísérletek alapján - már néhány pórusterfogatnyi átöblítődés esetén a mintán átjutó folyadék koncentrációja eléri a belépéskori koncentrációt, míg  $K^+$  esetén ehhez lényegesen hosszabb időre van szükség. Ez jut kifejezésre az eltérő retardációs tényezőkben is (GRIFFIN et al, 1976.).

**Feladat:** határozzuk meg a szükséges szigetelőréteg vastagságát, ha:

- a szivárgási tényező: .....  $k = 5 \times 10^{-11}$  m/s,
- a hézagterfogat: .....  $n = 37\%$ ,
- a hidraulikus gradiens a depónia alján: .....  $I = 1,33$ .

A csurgalékvíz koncentrációja, a kilépéskor megengedett koncentrációk, a diffúziós tényező ( $D^*$ ) és a retardációs tényező ( $R_d$ ) értékei a **6.3. táblázatban** található. Azt kívánjuk, hogy a szigetelőréteg legalább 40 évig fejtse ki védő hatását.

6.3. táblázat

| <i>A szükséges szigetelőréteg vastagság meghatározása.</i> |                                               |                                                     |         |                       |           |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------|-----------|
| <i>A mintapélda adatai</i>                                 |                                               |                                                     |         |                       |           |
| Ion                                                        | A csurgalékvíz koncentrációja ( $c_0$ ; mg/l) | A kilépéskor megengedett koncentráció ( $c$ ; mg/l) | $c/c_0$ | $D^*$ ( $m^2/s$ )     | $R_d$ (-) |
| $Cl^-$                                                     | 3484                                          | 250                                                 | 0,072   | $4,7 \times 10^{-10}$ | 1,0       |
| $K^+$                                                      | 501                                           | 250                                                 | 0,50    | $2,0 \times 10^{-9}$  | 26,7      |

Klorid-ionra az átjutási idő:

$$v_s = \frac{k \cdot I}{n} = \frac{5 \cdot 10^{-11} \text{ m/s} \cdot 1,33}{0,37} = 1,8 \cdot 10^{-10} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Legyen a szigetelőréteg becsült vastagsága  $L = 0,9$  m, akkor

$$P_L = \frac{v_s \cdot L}{D^*} = \frac{1,8 \cdot 10^{-10} \text{ m/s} \cdot 0,9 \text{ m}}{4,7 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}} = 0,35$$

Mivel  $c/c_0 = 0,72$ , a 6.24. ábrából a  $c/c_0 = 0,072$  és  $P_L = 0,35$  értékhez azt kapjuk, hogy  $T_R = 0,05$ . Így

$$t_1^{Cl} = \frac{T_R \cdot R_d \cdot L}{v_s} = \frac{0,05 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \text{ m}}{1,8 \cdot 10^{-10} \text{ m/s} \cdot 3,163 \cdot 10^7 \text{ s/év}} = 8,1 \text{ év} < t_{szüks.} = 40 \text{ év}$$



Mint látjuk a klorid-ion koncentrációja a szigetelőréteg túoldalán 8,1 év múlva meghaladja az előírt értéket, tehát vastagabb szigetelőrétegre van szükség.

Ha a számítást megismételjük  $L_2 = 1,8$  m vastagsággal, azt kapjuk, hogy  $t_1^{Cl} \approx 41$  év, ami már megfelelő.

*Kálium-ionra az átjutási idő:*

$$P_L = \frac{v_s \cdot L}{D^*} = \frac{1,8 \cdot 10^{-10} \text{ m/s} \cdot 0,9 \text{ m}}{2 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}} = 0,082 \text{ ha } L = 0,9 \text{ m}$$

A 6.24. ábrából:  $T_R = 0,09$ , így

$$t_1^K = \frac{T_R \cdot L \cdot R_d}{v_s} = \frac{0,09 \cdot 26,7 \cdot 0,9 \text{ m}}{1,8 \cdot 10^{-10} \text{ m/s} \cdot 3,163 \cdot 10^7 \text{ s/év}} = 387 \text{ év} > t_{szüks} = 40 \text{ év}$$

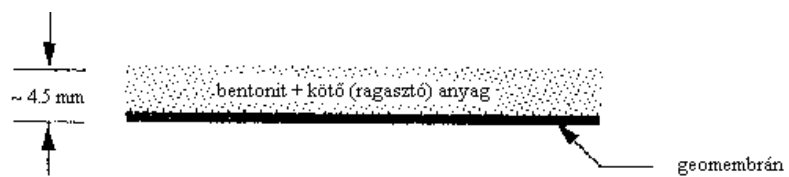
A számítást bármely más elemre elvégezhetjük, ha  $D^*$  és  $R_d$  ismert. Meghatározásuk laboratóriumi úton lehetséges, s tulajdonképpen ez az egyetlen nehézsége a fenti méretezési módszernek. Laboratóriumi mérések hiányában a szakirodalomból ismert átlagos értékek alapján (lásd 11. fejezetben) is hasznos információkhoz juthatunk.

### ***Geoszintetikus agyagszigetelők***

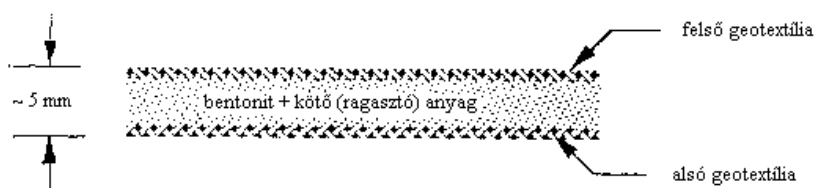
A természetes anyagból készített szigetelések területén a 80-as évek végén jelentek meg és azóta egyre nagyobb szerephez jutnak az ún. geoszintetikus agyagszigetelők. É-Amerikában az 1985-ös 0,5 millió  $\text{m}^2$  kereskedelmi forgalom 1994-re 5 millió  $\text{m}^2$ -re nőtt (VON MAUBEUGE, 1995.). (A nemzetközi irodalomban általában csak a GCL megjelölést használják a Geosynthetic Clay Liner elnevezés alapján.) A hazai szóhasználatban a *bentonitos szigetelőlemez*, *bentonit-szőnyeg*, *bentonit-paplan* elnevezés terjedt el.

A bentonitos szigetelőlemezek többnyire két geoszintetikus hordozó elem (geotextília vagy geomembrán) közötti bentonitrétegből állnak. A bentonitréteg vastagsága általában 5-10 mm, a töltési mennyiség  $\sim 5 \text{ kg/m}^2$ . Az É-Amerikai gyártmányoknál uralkodóan Na-bentonit, az Európában előállítottaknál a Ca-bentonit a jellemző. Közismert a bentonit nagy duzzadó és vízfellevő képessége. Az előállítás során a bentonitot por alakban helyezik a geoszintetikus lemezek közé és további adalékanyagként ha szükséges – a lemez szerkezetétől függően – kötőanyagot is adagolnak.

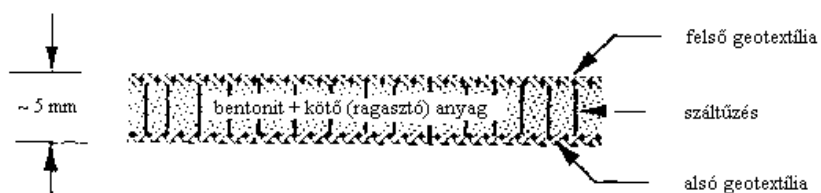
A bentonitos szigetelőlemezek jellemző kialakítási módjait a **6.25. ábra** szemlélteti. Az *erősítés nélküli bentonitos szigetelőlemezeknél* a bentonit nincs megfelelően bezárva a határoló felületek közé, a megduzzadt bentonit kis erő hatására is elcsúszhat oldalirányban. Ilyen típusú lemezek elsősorban vízszintes felületen alkalmazhatók. A *tűzési eljárással készült bentonitos szigetelőlemezek* általában csak hosszirányban erősítettek, így a tűzési sorok között a bentonit elcsúszása csak kismértékben korlátozott. A *tűnemezelt lemezeknél* a szálhidak körbezárják a bentonitot és megakadályozzák a hidratált bentonit oldalirányú elmozdulását a geotextíliák között. A lemez az egyenlőtlen süllyedést könnyen elviseli, nyíróerők felvételére alkalmas.



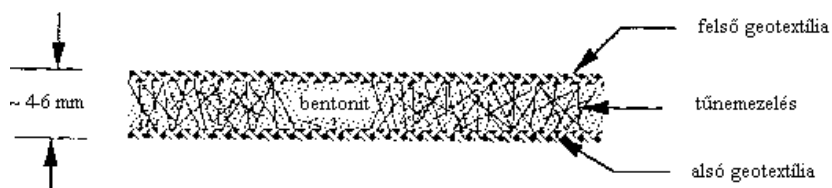
a.) Ragasztott bentonitos szigetelőlemez



b.) Erősítés nélküli ragasztott bentonitos szigetelőlemez



c.) Száltűzéssel készült bentonitos szigetelőlemez



d.) Tűnemezeléssel készült bentonitos szigetelőlemez

6.25. ábra  
Bentonitos szigetelőlemezek

A geoszintetikus agyagszigetelők alkalmazásának igen kedvező tapasztalatai vannak az út- és vasútépítés, a vízépítés területén és az elmúlt években végzett széleskörű vizsgálatok igazolták alkalmazhatóságukat a korszerű depóniaszigetelő-rendszerek természetes anyagú komponenseként, valamint a szennyezett területek kármentesítésénél a szennyeződés tovaterjedésének korlátozásánál.

Szigetelőlemezként való alkalmazásukat az teszi különösen vonzóvá, hogy a vízfelvétel (hidratáció) hatására a bentonit duzzad, azonban a két határoló geotextília tűzéssel vagy tűnemezeléssel történő összekötése a térfogatnövekedést gátolja, s így egy kis vastagságú, de tömör vízzáró réteg alakul ki. A jellemző szivárgási tényező a  $10^{-10} - 5 \times 10^{-12} \text{ m/s}$  tartományba esik. A 6.4. táblázat a hidraulikai jellemzők, a szennyezőanyag transzport, a fizikai, mechanikai hatásokkal szembeni viselkedés, valamint a kivitelezés, beépíthetőség szempontjából hasonlítja össze a hagyományos tömörített agyagszigeteléseket a geoszintetikus agyagszigetelőkkel.

6.4. táblázat

| <i>A geoszintetikus szigetelőanyagok (GCL) és a tömörített agyagrétegek egyenértékűségének összehasonlítása az aljzatszigetelőként való alkalmazás szempontjából</i> |                                                         |                                              |             |                 |                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------|-----------------|---------------------------------|
| Az értékelési                                                                                                                                                        |                                                         | A geoszintetikus szigetelőanyag valószínűleg |             |                 | A megítélés hely és termékfüggő |
| kategória                                                                                                                                                            | kritérium                                               | jobb                                         | egyenértékű | nem egyenértékű |                                 |
| Hidraulikai és szennyezőanyag transzport                                                                                                                             | Hidrodinamikai fluxus                                   |                                              | x           |                 | x                               |
|                                                                                                                                                                      | Diffúziós fluxus                                        |                                              |             | x               | x                               |
|                                                                                                                                                                      | Adszorpciós kapacitás                                   |                                              |             | x               | x                               |
|                                                                                                                                                                      | Áttörési idő: víz estén oldat esetén                    |                                              | x           |                 | x                               |
|                                                                                                                                                                      | Vízszintes szivárgás az átlapolásnál, rétegek között    |                                              | x           |                 | x                               |
|                                                                                                                                                                      | Vízszintes szivárgás a geomembrán alatt                 | x                                            |             |                 |                                 |
|                                                                                                                                                                      | Konzolidációs víz képződés                              | x                                            |             |                 |                                 |
| Fizikai, mechanikai hatások                                                                                                                                          | Teherbírás                                              |                                              |             |                 | x                               |
|                                                                                                                                                                      | Csúszási állékonyság                                    |                                              |             |                 | x                               |
|                                                                                                                                                                      | Süllyedés                                               |                                              | x           |                 |                                 |
|                                                                                                                                                                      | Süllyedés különbség                                     | x                                            |             |                 |                                 |
|                                                                                                                                                                      | Fagyérzékenység                                         | x                                            |             |                 |                                 |
|                                                                                                                                                                      | Száradás-nedvesedés                                     | x                                            |             |                 |                                 |
|                                                                                                                                                                      | Erózió érzékenység                                      |                                              |             |                 | x                               |
| Szerkezeti felépítés, beépíthetőség                                                                                                                                  | Beépíthetőség                                           | x                                            |             |                 |                                 |
|                                                                                                                                                                      | Az anyag felhasználhatósága                             | x                                            |             |                 |                                 |
|                                                                                                                                                                      | Aljzat előkészítés                                      | x                                            |             |                 |                                 |
|                                                                                                                                                                      | Építési előrehaladás                                    | x                                            |             |                 | x                               |
|                                                                                                                                                                      | Lyukasztással szembeni ellenállóképesség, sérülékenység |                                              |             | x               |                                 |
|                                                                                                                                                                      | Minőségbiztosítás                                       | x                                            |             |                 |                                 |
|                                                                                                                                                                      | Vízszükséglet                                           | x                                            |             |                 |                                 |
| Időjárási körülmények                                                                                                                                                |                                                         |                                              |             | x               |                                 |

Mint látható, a geoszintetikus agyagszigetelők számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek a tömörített agyagrétegekkel szemben, amelyek közül külön is kiemelendő:

- alkalmazásuk a helyi adottságoktól kevésbé függ;
- kivitelezés közbeni helyszíni ellenőrző vizsgálatokat (vízzáróság) nem igényel;
- a beépítés lényegesen egyszerűbb gépparkkal megvalósítható;
- a kivitelezés üteme (előrehaladás) gyorsabb és kevésbé időjárásfüggő;
- kis területek egyszerűbben szigetelhetők;
- süllyedésre, süllyedéskülönbségre kevésbé érzékenyek, fagyérzékenységük kisebb, erózióval szembeni nagyobb ellenállóképesség;
- könnyebb javíthatóság;
- alacsonyabb építési költség.

Ugyanakkor hátrányuk a tömörített agyagréteggel szemben:

- nagyobb sérülékenység;
- kisebb adszorpciós kapacitás;
- kisebb áttörési idő oldatok esetén;
- nagyobb diffúziós fluxus.

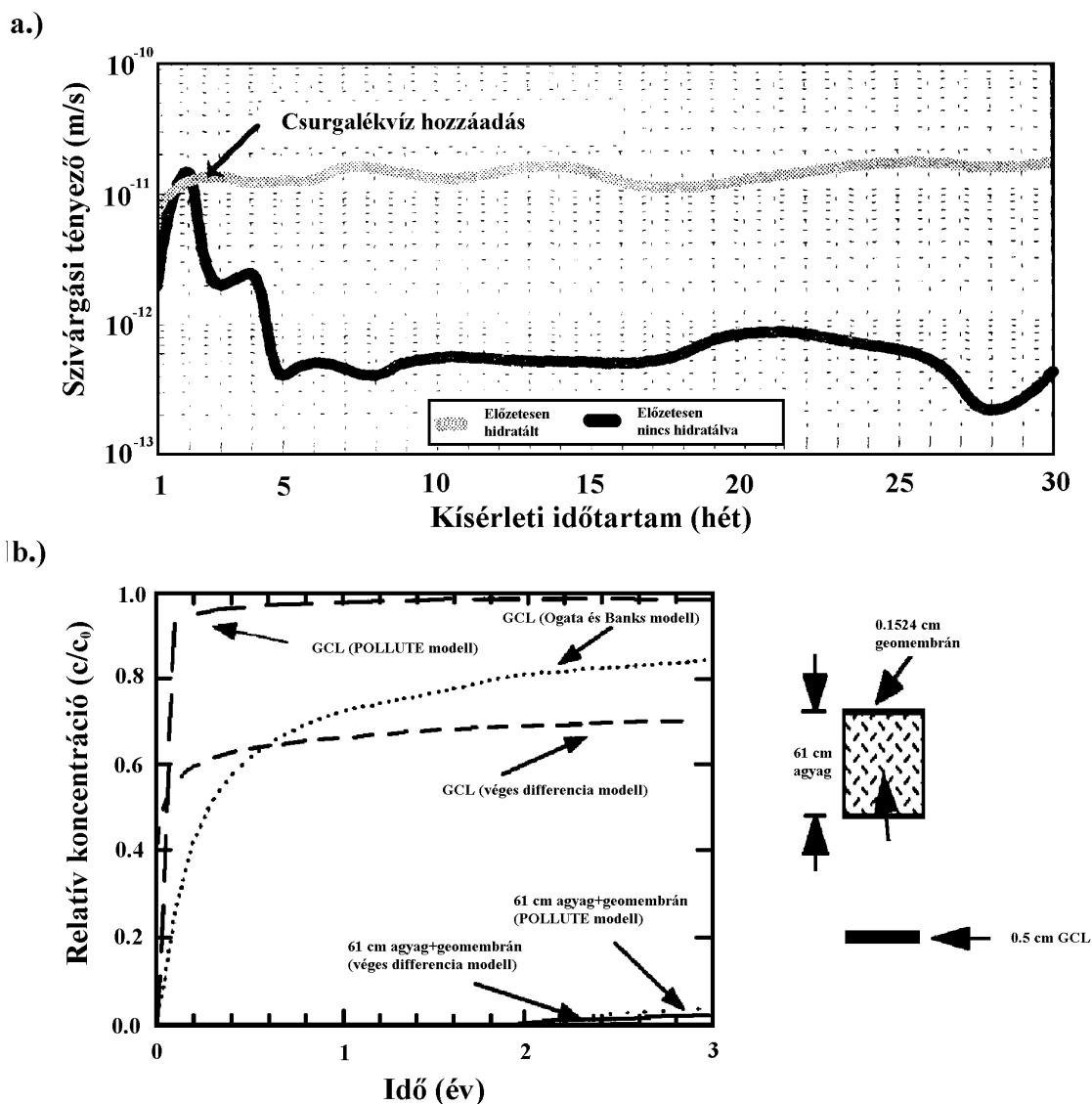
Mint látható, a hátrányos tulajdonságok elsősorban a *szennyezőanyag-visszatartó képesség területén* jelentkeznek, amelynek az oka elsődlegesen a *kis rétegvastagság*. Valójában ma a *két szigetelőanyag szennyezésvisszatartó képességének egyenértékűsége még nem teljesen tisztázott* és általánosan nem is mondható ki, mivel az egyenértékűség mindig specifikus, szigorúan körülhatárolt, csak az alkalmazás rögzített feltételei között lehet érvényes, és csak adott szennyezőanyagra vonatkozatható.

Ma még nem áll rendelkezésre elegendő vizsgálat, tapasztalat, hogy az egyenértékűséget egyedi vizsgálatok nélkül megítélhessük. Ismertek olyan kísérletek, amelyek azt mutatták, hogy a bentonit szőnyeg szivárgási tényezője a több hetes kísérleti időtartam alatt nem növekedett kommunális hulladék csurgalékvizével végzett kísérletek esetén sem. (**6.26.a. ábra**, VON MAUBEUGE, 1996.) A **6.26.b. ábra** ugyanakkor azt mutatja, hogy nem elegendő önmagában a szivárgási tényező változását vizsgálni, figyelembe kell venni a szennyezőanyag-visszatartó képességet is. Az ábra a 0,5 cm vastag geoszintetikus agyagszigetelő (GCL;  $k=10^{-11}$  m/s) ill. 0,1524 cm-es geomembrán és alatta 61 cm vastag agyagrétegen ( $k=10^{-9}$  m/s) átjutó relatív koncentrációkat mutatja szervesen szennyezőket tartalmazó csurgalékvizek esetén, három különböző, a gyakorlatban elfogadott transzport-modell segítségével (FOOSE et al., 1996.). Mint látható, a geoszintetikus agyagszigetelők esetén átjutó csurgalékvíz koncentrációja nagyon rövid idő alatt eléri vagy megközelíti a kiindulási koncentrációt.

Általánosságban a bentonit szőnyegek hosszú idejű várható viselkedésénél figyelembe kell venni, hogy a Na kation kicserélődése révén kedvező nehézfém megkötődés következhet be. A Na ionoknak nagyobb értékű ionokra való kicserélődésének az eredményeként nő a bentonit réteg nyírószilárdsága miközben a duzzadási potenciálja csökken, s ennek következtében a réteg szivárgási tényezője nő.

A geoszintetikus agyagszigetelők alkalmazhatóságáról ma még meglehetősen megoszlanak a vélemények. Az *USA-ban* gyakran alkalmazzák a *természetes anyagú szigetelőrétegek helyett is*

mind aljzat-, mind zárószigetelésként. Európában a hulladéklerakóknál *jelenleg csak a lezárásnál alkalmazzák* egyenértékű alternatív szigetelőanyagként. Előnyösnek tűnik az alkalmazása olyan lerakóknál is, ahol *nagyobb hajlású oldalfelületet kell szigetelni* és (l. 6.22. ábrán) az agyagréteg beépítése nehéz és az egyenletes szigetelőképeség biztosítása megkérdőjelezhető. Ezen megfontolások alapján alkalmazták pl. a tatabányai lerakónál a bentonit szőnyeget. Alkalmazhatóságát ebben az esetben indokolja az, hogy a meredekebb dőlésű felületeken a csurgalékvíz rövid idő alatt „lefut”, s a „terhelés” gyakorlatilag rövid idejű.



6.26. ábra

A geoszintetikus agyagszigetelő viselkedése csurgalékvíz hatására  
 a.) A szivárgási tényező változása (VON MAUBEUGE, 1996.)  
 b.) A szennyezőanyag visszatartó képesség összehasonlítása a kombinált szigetelőrendszerrel (FOOSE et al., 1996.)

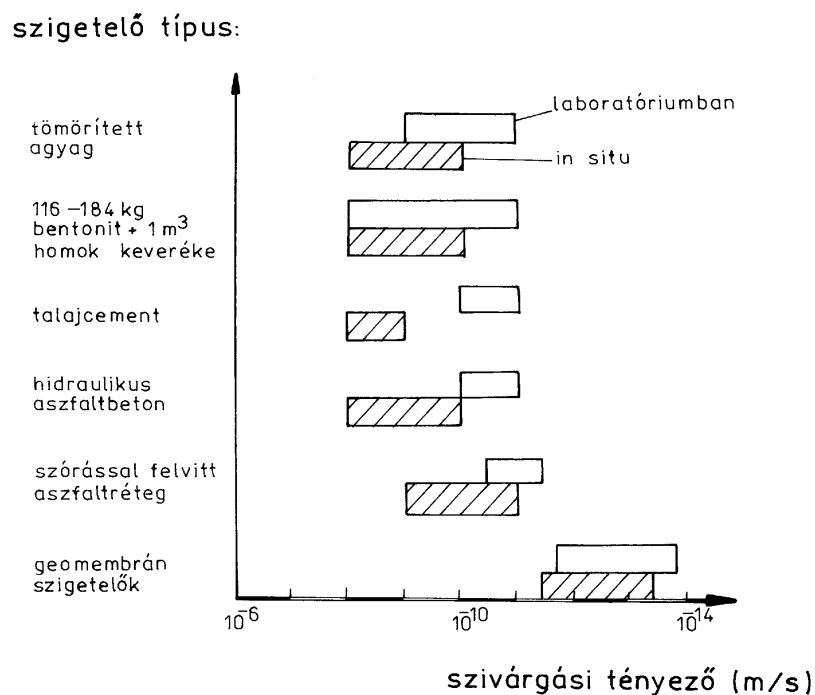
Az egyenértékűség mellett a másik ma még nem tisztázott probléma a lemezek várható „öregedése”, különösen a szálerősítésnél alkalmazott vékony műanyag szálak vonatkozásában.

Mindezen kételyek mellett biztos, hogy a már ma is széles körben alkalmazott szigetelőanyag új lehetőséget jelent, s további térhódítása várható. Ugyancsak várható, hogy a jelenleg alkalmazott Na- és Ca-bentonit mellett további kedvező töltőanyagokkal gyártott lemezek is meg fognak jelenni a piacon. Az egyik ilyen lehetőség pl. az organofil bentonit (GARTUNG, 1995.) Elterjedését ma még némileg gátolja, hogy nincsenek egységesített minősítő vizsgálati módszerek.

### 6.2.2.1.2. Mesterséges anyagú szigetelők

A hulladék összetétele, veszélyességi foka és a csurgalékvíz összetétele miatt az esetek nagy többségében nem elegendőek a természetes anyagú szigetelőrendszerek, hanem további műszaki védelemre van szükség. Ezen megoldások közül a gyakorlatban a legelterjedtebbek a *hajlékony műanyag membránszigetelők* (geomembránok).

A geomembránok mellett műszaki védelemként néhány országban elterjedt az *aszfaltbeton szigetelés*, s történtek kísérletek *talaj-cement keverékekkel*, valamint különböző vegyi anyagokkal való *impregnálásokra* is. Az utóbbi esetben az impregnáló anyag többnyire valamilyen műgyanta volt.



6.27. ábra

Különböző szigetelőanyagok szivárgási tényezőinek tipikus (laboratóriumi, terepi) értékei (FOLKES, 1982.)

Ha megnézzük a 6.27. ábrát, amelyik a különböző mesterséges szigetelőrétegek terepen és laboratóriumban mért szivárgási tényező értékeit tünteti fel, mindjárt magyarázatot is találunk ezen anyagok gyors elterjedésének az okára. Figyelembe véve a tömörített agyagokra jellemző

szivárgási tényező tartományt, jól látható, hogy a membránszigetelők *kimagaslóan kedvező vízzárósággal* rendelkeznek. Az is megállapítható, hogy az agyagszigetelések - a membránokat nem számítva - "állják a versenyt," ami azt jelenti, hogy tömörített agyagszigetelést kombinálva egy mesterséges réteggel csak membránszigetelések esetén várhatunk jelentős vízzáróság növekedést. Egyéb változat mellett dönteni akkor célszerű (pl. agyag-talajaszfalt), ha a kiegészítő műszaki szigetelés azokkal a komponensekkel szemben lesz ellenálló, amelyekre a geomembrán nem.

### **Hajlékony műanyag membránszigetelők**

Műanyag membránokat (*fóliákat* [ $d < 2$  mm]; *lemezeket* [ $d > 2$  mm]) hulladéklerakók szigetelésére a 70-es évektől alkalmaznak. A természetes anyagú szigetelők műanyagokkal való helyettesítése nem járt teljes sikerrel, és valószínűleg teljesen nem is veszik át a szerepüket, mivel számos előnyös tulajdonságuk (egyenletes, előre jól definiált minőség, vegyi anyagokkal szembeni ellenállóképesség, jó vízzáróság, kis vastagság) mellett a legnagyobb hátrányuk a mechanikai hatásokkal szembeni érzékenység (sérülékenység), ami ellen természetesen lehet védekezni szigorú műszaki előírásokkal, technológiai fegyelemmel és magának a fóliának az erősítésével. Helyesen akkor járunk el, ha a szigetelőrendszer tervezésénél a természetes és a mesterséges anyagú szigetelők egymást kölcsönösen kiegészítő előnyös tulajdonságait használjuk ki.

A hajlékony membránszigetelők *szintetikus polimerek*. A gyakorlatban szigetelőként elterjedt változataik négy nagy csoportját különböztetjük meg:

① *Termoplasztikus (hőre lágyuló) műanyagok*: A molekulák közötti szekunder kapcsolatok (melyek többnyire hidrogénkötések) gyengébbek a fővegyértéklánc irányában ható primer erőknél, következésképpen a hőmozgás hatására a fővegyértékláncok egymástól részben vagy teljesen függetlenül mozdulhatnak el, az anyag lágyul, ill. megolvad. A makromolekulás anyagok olvadáspontja ritkán éles, az anyag előbb lágyul, jól alakíthatóvá válik.

Legismertebb hőre lágyuló szigetelőanyag a *polivinil-klorid (PVC)* ill. annak az *olajjal szemben is ellenálló* változata (*PVC-OR*).

② *Részben kristályos (termoplasztikus) műanyagok*:

Legismertebb képviselőik:

- *kis sűrűségű polietilén (LDPE)*,
- *nagy sűrűségű polietilén (HDPE)*,
- *polipropilén (PP)*,
- *rugalmassá tett poliolefin (ELPO)*.

③ *Vulkanizált elasztomerek*: természetes vagy szintetikus makromolekulás anyagok, amelyek eredeti hosszúságuknak kétszeresénél hosszabbra nyújthatók rugalmasan. Nyújtó erő hatására az eredetileg rendezetlen helyzetben lévő fonalmolekulák az erő irányában kiegyenesednek, a nyújtóerő megszűnése után viszont eredeti térszerkezetüket veszik fel. A keresztkötések mennyiségével az anyag rugalmassága változtatható, ill. kívánt értékre állítható be (vulkanizálás). Leggyakrabban használt változataik:

- *butilkaucsuk*,
- *polikloroprén (Neopren) (CR)*,

– *etilén propilén dién monomer (EPDM)*.

④ *Termoplasztikus elasztomerek:*

– *klórozott polietilén (CPE)*,

– *kloroszulfonált polietilén (CSPE)* (kereskedelmi neve: Hypalon)

A megnevezés után zárójelben szereplő betűk a nemzetközileg használt rövidítést jelentik.

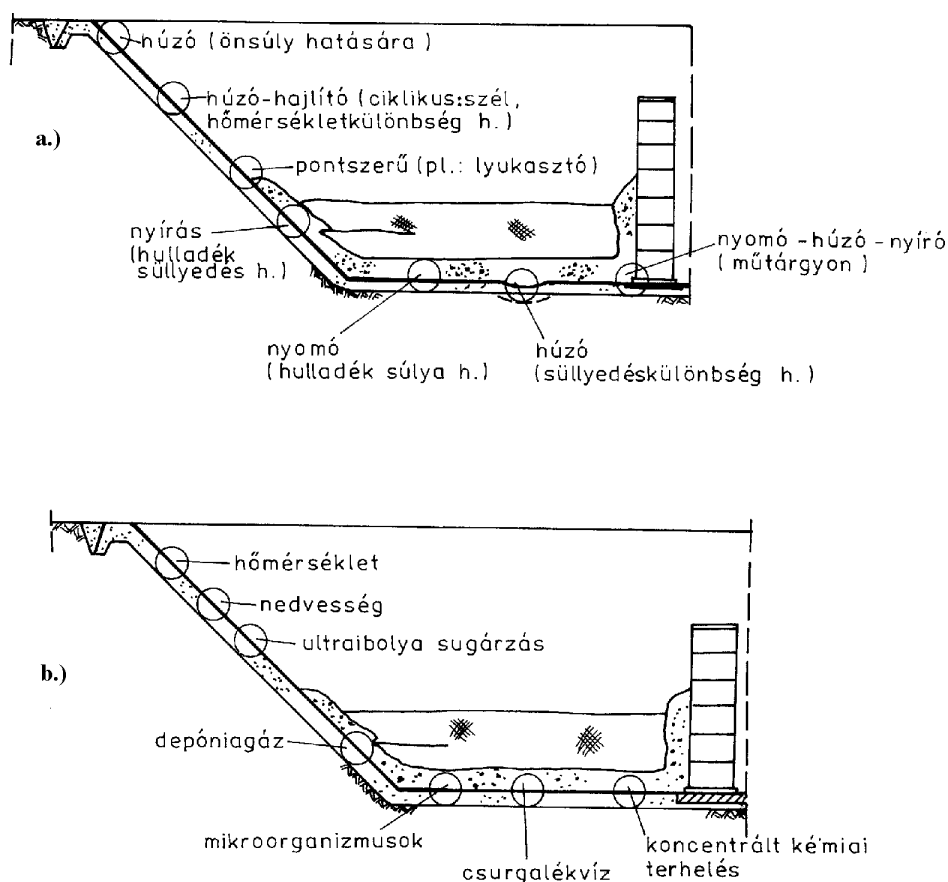
### ***A membránszigetelőkkel szemben támasztott követelmények***

A membránszigetelőkre, éppúgy mint a természetes anyagúakra, jelentős *mechanikai, fiziko-kémiai és biológiai terhelés* jut, amely hatásokkal szemben a megkívánt ideig ellenállónak kell lenniük. A **6.28. ábra** a szigetelőkre ható mechanikai, fiziko-kémiai, biológiai hatásokat tünteti fel. Nem megfelelő méretezés és anyagválasztás esetén a mechanikai igénybevétel hatására közvetlen tönkremenetel (szakadás, kilyukadás, stb.), a fiziko-kémiai és biológiai hatásokra folyamatos öregedés - és ennek következtében a mechanikai jellemzők és a vízzáróság megváltozása - következik be.

A geomembránok minősítése szabványban előírt vizsgálatokkal történik, a kereskedelmi forgalomba kerülő fóliáknál a megadott határértékeket a gyártók garantálják. Minden fóliát többnyire idegen, független, a vizsgálatokra feljogosított intézménnyel kell minősíttetni. A vizsgálatok igen széles körűek, s a gyártó országok többségében szabványban rögzítettek. Nem részletezve a vizsgálatok végrehajtásának a módját, jó tudni, hogy azoknak, ill. a minősítő tanúsítványoknak többnyire ki kell térniük az alábbi jellemzők meghatározására ill. értékének megadására:

- méret,
- névleges vastagság,
- eltérés a névleges vastagságtól,
- sűrűség,
- olvadási index,
- vízfelvétel,
- szakítószilárdság (hossz- és keresztirányú),
- szakadási nyúlás,
- továbbszakadási erő (hossz- és keresztirányú),
- ütési, lyukasztási ellenállás,
- egytengelyű húzóerő 5% megnyúlásnál (hossz- és keresztirányú),
- méretváltozás hőhatásra (hossz- és keresztirányú),
- hidegállóság, viselkedés hidegen való hajtogatásakor,
- varratszilárdság,
- időjárással szembeni viselkedés,
- biológiai ellenállóképesség,
- talaj-geomembrán közötti súrlódás.





6.28. ábra

A membránszigetelők jellemző mechanikai igénybevételei (a), valamint kémiai és biológiai terhelése (b)  
(KNIPSCHILD, 1985.)

A 6.5. táblázat a geomembránok anyagjellemzőinek jellemző tartományait a 6.6. táblázat a legismertebb (erősítés nélküli) geomembránfajták átlagos anyagjellemzőit tartalmazza.

Az egyes országok eltérő vizsgálati módszereiből adódóan (MSZ; ASTM; DIN) a membránnal szemben támasztott követelmények sem azonosak, ami a kiválasztásukat, méretezésüket némileg megnehezíti (pl. a DIN szabvány az 5% nyúláshoz (50 mm széles mintánál) szükséges erőt adja meg, míg az ASTM a folyási határhoz, ill. a tönkremenetelhez szükséges értéket). A membránszigetelőknek a mechanikai igénybevételek mellett ellenállóknak kell lenniük a hulladék vegyi hatásaival szemben is. A szigetelőanyag csak akkor biztosítja a várt hatást, ha közte és a csurgalékvíz között *nem lép fel semmilyen, a tulajdonságait károsan befolyásoló reakció*, ami *öregedési* folyamatot indít meg és a mechanikai, ill. vízzárósági tulajdonságait számottevően befolyásolja. Sok esetben a *kompatibilitás a tervezési folyamat legkritikusabb pontja*. A gyártók általában megfelelő tájékoztatást adnak termékeik vegyszerállóságáról, s rendelkezünk jó néhány kísérleti eredménnyel, gyakorlati tapasztalattal is.

6.5. táblázat

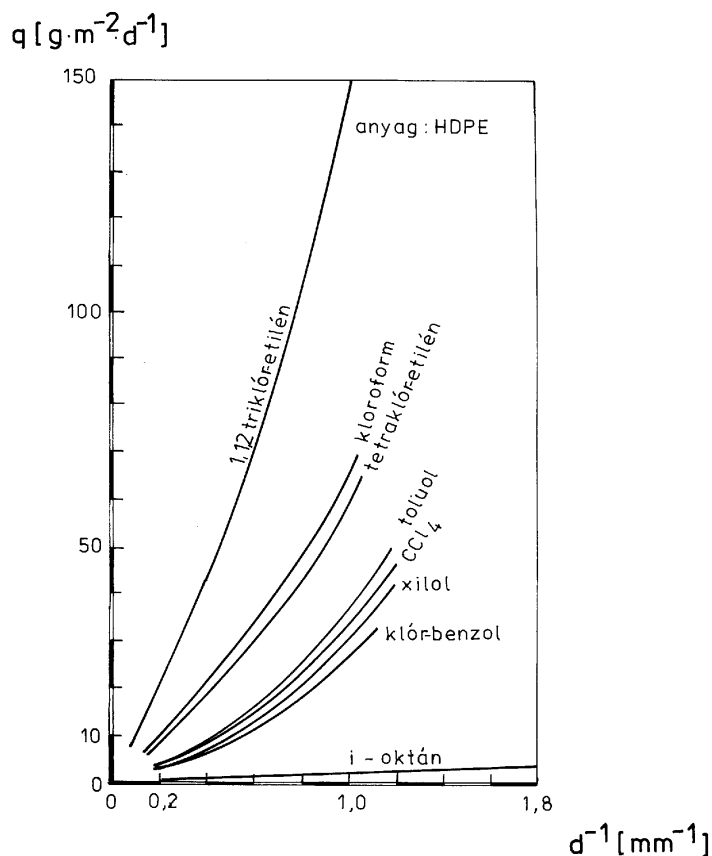
| <b>Geomembránok fizikai és mechanikai jellemzői<br/>(KOERNER, 1986.)</b> |                                                                     |                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Jellemző tulajdonság</b>                                              |                                                                     | <b>Érték</b>                                                                                       |
| <i>Fizikai:</i>                                                          | vastagság<br>sűrűség<br>súly<br>vízgőz átteresztőképesség           | 0,25-2,5 mm<br>0,90-1,5 g/cm <sup>3</sup><br>600-3000 g/m <sup>2</sup><br>1-10 g/m <sup>2</sup> ·d |
| <i>Mechanikai:</i>                                                       | Húzóerő (folyási határnál)<br>erősítés nélkül<br>erősített          | 10-50 kN/cm<br>20-60 kN/cm                                                                         |
|                                                                          | Húzóerő (tönkremenetelkor)<br>erősítés nélkül<br>erősített          | 10-50 kN/cm<br>20-60 kN/cm                                                                         |
|                                                                          | Nyúlás (folyási határnál)<br>erősítés nélkül<br>erősített           | 20-100 %<br>10-30 %                                                                                |
|                                                                          | Nyúlás (tönkremenetelkor)<br>erősítés nélkül<br>erősített           | 100 - 500 %<br>70 - 250 %                                                                          |
|                                                                          | Rugalmassági modulus<br>erősítés nélkül<br>erősített                | 3,5-20 MPa<br>35-140 MPa                                                                           |
|                                                                          | Szakítóerő<br>erősítés nélkül<br>erősített                          | 20-150 kN<br>100-500 kN                                                                            |
|                                                                          | Ütőerővel szembeni ellenállás<br>erősítés nélkül<br>erősített       | 0,05-2 KN·m<br>2-7 KN·m                                                                            |
|                                                                          | Lyukasztóerővel szembeni ellenállás<br>erősítés nélkül<br>erősített | 5-50 KN<br>25-250 KN                                                                               |
|                                                                          | Talaj-szigetelő közötti súrlódás (a talaj belső súrl. szög %-a)     | 50-100 %                                                                                           |

6.6. táblázat

| <b>Néhány geomembrántípus átlagos anyagjellemző értékei</b> |                            |     |             |      |      |             |     |      |            |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------|-----|-------------|------|------|-------------|-----|------|------------|
| <b>Paraméter</b>                                            | <b>PVC</b>                 |     | <b>HDPE</b> |      |      | <b>EPDM</b> |     |      | <b>CPE</b> |
|                                                             | <b>fóliavastagság (mm)</b> |     |             |      |      |             |     |      |            |
|                                                             | 0,75                       | 1,0 | 0,75        | 1,0  | 1,5  | 0,75        | 1,0 | 1,5  | 0,75       |
| <b>Sűrűség (g/cm<sup>3</sup>)</b>                           | 1,2                        | 1,2 | 0,94        | 0,94 | 0,94 | 1,15        | 1,1 | 1,15 | 1,2        |
| <b>Húzóerő (tönkremenetelkor), (kN/cm)</b>                  | 14                         | 21  | 18          | 24   | 24   | 18,5        | 13  | 17   | 8,5        |
| <b>Húzóerő (folyási határnál), (kN/cm)</b>                  | na.                        | na. | 10          | 14   | 14   | na.         | na. | na.  | na.        |
| <b>Nyúlás (tönkremenetelkor), (%)</b>                       | 300                        | 300 | 500         | 500  | 500  | 300         | 300 | 300  | 300        |
| <b>Nyúlás (folyási határnál), (%)</b>                       | na.                        | na. | 10          | 10   | 10   | na.         | na. | na.  | na.        |
| <b>Szakítóerő (min.), (kN)</b>                              | 4                          | 4,5 | 7,5         | 10   | 10   | 2           | 3   | 4    | 2,3        |

na.: nincs adat

A vizsgálatok szemléltetésére mutat be példát a 6.29-6.30. ábra. A 6.29. ábra a fóliavastagság függvényében ábrázolja az egységnyi felületen átjutó folyadékmennyiséget, ami a vastagság növekedtével exponenciálisan csökken. A 6.30. ábra a különböző dielektromos állandójú szerves vegyületeknek a fólia megnyúlására (adott nyomóerő mellett) gyakorolt hatását ábrázolja. A 6.7. táblázat néhány általánosan használt szigetelőlemez vegyszerállóságát foglalja össze (KOERNER, 1986.).

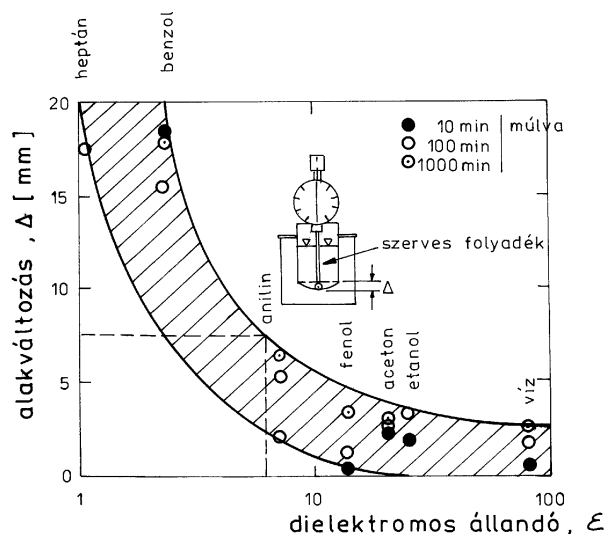


6.29. ábra

A fóliavastagság és az egységnyi felületen átjutó folyadékmennyiség kapcsolata különböző szerves vegyületek esetén (TATZKY, 1985.)

A membránszigetelők *vegyszerállóságát* ugyancsak külön vizsgálattal kell igazolni. A vizsgálathoz felhasználandó kísérleti folyadék összetétele függ a szigetelőlemez várható igénybevételétől. A 6.8. táblázat az osztrák előírást szemlélteti (ÖNORM S 2073), amely lényeges elemeiben nem tér el a német szabályozástól.

A vizsgálatok időtartama csurgalékvízben való áztatásnál 6 hét, a többi hatóanyagnál 12 hét minimálisan, amit szükség esetén meg kell hosszabbítani a tömegállandóság eléréséig. A tömegállandóság elérése után mérik a tömegváltozás és a szilárdságváltozás mértékét.



6.30. ábra

Különböző dielektromos állandójú szerves vegyületek hatása adott erő (P) melletti megnyúlásra (RAO - ACAR, 1989.)

### A megfelelő szigetelőanyag kiválasztása

Mint láttuk a geomembránok számos változata ismert és forgalmazott, s minden egyes terméknek megvan a maga előnye és hátránya. A kiválasztás során először mérlegelni kell a vegyszerállóságot, majd az így kiválasztott típusnál a *mechanikai igénybevételek* alapján meg kell határozni a szükséges *vastagságot*. A **6.7. táblázat**, ill. a kompatibilitási vizsgálatok alapján a megfelelő típus kiválasztható. A **6.9. táblázat** a tájékozódást megkönnyítendő, a leggyakrabban használt műanyagfóliák előnyös és hátrányos tulajdonságait foglalja össze.

6.7. táblázat

| A leggyakrabban használt geomembránok vegyszerállósága (KOERNER, 1986) |              |     |                            |     |                                   |     |                             |     |                                     |     |                              |     |                  |     |                       |     |
|------------------------------------------------------------------------|--------------|-----|----------------------------|-----|-----------------------------------|-----|-----------------------------|-----|-------------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------|-----|-----------------------|-----|
| Vegyületek                                                             | Butilkaucsuk |     | Klórozott polietilén (CPE) |     | Kloroszulfonált polietilén (CSPE) |     | Elastikus poliolefin (ELPO) |     | Etilén-propilén dién monomer (EPDM) |     | Polikloroprén (Neoprén) (CR) |     | Policetilén (PE) |     | Polivinilklorid (PVC) |     |
|                                                                        | 40°          | 90° | 40°                        | 90° | 40°                               | 90° | 40°                         | 90° | 40°                                 | 90° | 40°                          | 90° | 40°              | 90° | 40°                   | 90° |
| Alifás szénhidrogének                                                  |              |     | +                          | +   |                                   |     | +                           |     |                                     |     | +                            | +   | +                | +   |                       |     |
| Aromás szénhidrogének                                                  |              |     |                            |     |                                   |     | +                           |     |                                     |     | +                            | +   | +                | +   |                       |     |
| Klórozott (halogénezett) oldószerek                                    | +            | +   |                            |     |                                   |     | +                           |     | +                                   |     | +                            |     | +                | +   |                       |     |
| Nyers ásványolaj                                                       |              |     | +                          | +   |                                   |     | +                           |     |                                     |     | +                            |     | +                | +   |                       |     |
| Alkoholok                                                              | +            | +   | +                          | +   |                                   |     | +                           |     | +                                   | +   | +                            | +   | +                | +   | +                     | +   |
| Szerves savak                                                          | +            | +   | +                          | +   | +                                 |     | +                           |     | +                                   | +   | +                            | +   | +                | +   | +                     | +   |
| Szervetlen savak                                                       | +            | +   | +                          | +   | +                                 |     | +                           |     | +                                   | +   | +                            | +   | +                | +   | +                     | +   |
| Szerves bázisok                                                        | +            | +   | +                          | +   | +                                 |     | +                           |     | +                                   | +   | +                            | +   | +                | +   | +                     | +   |
| Szervetlen bázisok                                                     | +            | +   | +                          | +   | +                                 |     | +                           |     | +                                   | +   | +                            | +   | +                | +   | +                     | +   |
| Nehézfémek oldatai                                                     | +            | +   | +                          | +   | +                                 |     | +                           | +   | +                                   | +   | +                            | +   | +                | +   | +                     | +   |
| Sók                                                                    | +            | +   | +                          | +   | +                                 |     | +                           | +   | +                                   | +   | +                            | +   | +                | +   | +                     | +   |

Megjegyzés: + általában jó ellenállóképesség



| <i>A membránszigetelők vegyszerállóságának a vizsgálatokor használandó hatóanyagok és a szigetelőlemezzel szemben támasztott követelmények az ÖNORM 2073 előírásai alapján</i> |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Sorszám                                                                                                                                                                        | Hatóanyagok                                                                                                                                                                                                                                                                                | Követelmények                                                       |
| 1.                                                                                                                                                                             | Csurgalékvíz <sup>1)</sup> kommunális hulladékot tároló depóniáról, ahol el kell érni a következő jellemző értékeket (vizsgálati hőmérséklet 40°C):<br>pH-érték 4,0-6,0<br>BOI <sub>5</sub> (biol. ox. igény) ≥ 15 g/l<br>KOI (kém. ox. igény) ≥ 22 g/l<br>TOC (össz.szerves szén) ≥ 2 g/l | Tömegváltozás ≤ 5%<br>Erőváltozás 5% nyúlásnál: ≤ 20%<br>(relatív)  |
| 2.                                                                                                                                                                             | Csurgalékvíz <sup>1)</sup> kommunális hulladékot tároló depóniáról, ahol el kell érni a következő jellemző értékeket (vizsgálati hőmérséklet 40°C):<br>pH-érték 8,0-10,0<br>BOI <sub>5</sub> (biol. ox. igény) -<br>KOI (kém. ox. igény) ≥ 3 g/l<br>TOC (össz.szerves szén) ≥ 2 g/l        | Tömegváltozás ≤ 5 %<br>Erőváltozás 5% nyúlásnál: ≤ 20%<br>(relatív) |
| 3.                                                                                                                                                                             | hígított oldatok 30% (m/m)<br>(vizsgálati hőmérséklet 40°C):                                                                                                                                                                                                                               | Tömegváltozás ≤ 5%<br>Erőváltozás 5% nyúlásnál: ≤ 20%<br>(relatív)  |
| 3.1.                                                                                                                                                                           | aminok:<br>dimetilamin                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                     |
| 3.2.                                                                                                                                                                           | alkoholok:<br>metanol/propán-2-ol/etán-1,2-diol 3:3:4 <sup>2)</sup>                                                                                                                                                                                                                        |                                                                     |
| 3.3.                                                                                                                                                                           | szerves savak:<br>ecetsav/propionsav 1:1 <sup>2)</sup>                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                     |
| 3.4.                                                                                                                                                                           | szervetlen savak:<br>kénsav/salétromsav 1:1 <sup>2)</sup>                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                     |
| 3.5.                                                                                                                                                                           | szervetlen lúgok:<br>nátrium-hidroxid                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                     |
| 4.                                                                                                                                                                             | koncentrált hatóanyagok<br>(vizsgálati hőmérséklet 40°C):                                                                                                                                                                                                                                  | Tömegváltozás ≤ 5 %<br>Erőváltozás 5% nyúlásnál: ≤ 20%<br>(relatív) |
| 4.1.                                                                                                                                                                           | semleges sók:<br>NaCl/Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:1 <sup>2)</sup> telített oldatban                                                                                                                                                                                                  |                                                                     |
| 4.2.                                                                                                                                                                           | szénhidrogének:<br>2,2,4 trimetilpentán/ benzol/toluol/xilol 10:3:4:3 <sup>2)</sup>                                                                                                                                                                                                        |                                                                     |
| 4.3.                                                                                                                                                                           | észterek és ketonok:<br>etil-acetát/4-metilpentán-2-on 1:1 <sup>2)</sup>                                                                                                                                                                                                                   |                                                                     |

<sup>1)</sup> A csurgalékvizet mélyhűtve lehet előzetesen tárolni

<sup>2)</sup> Tömegarányok

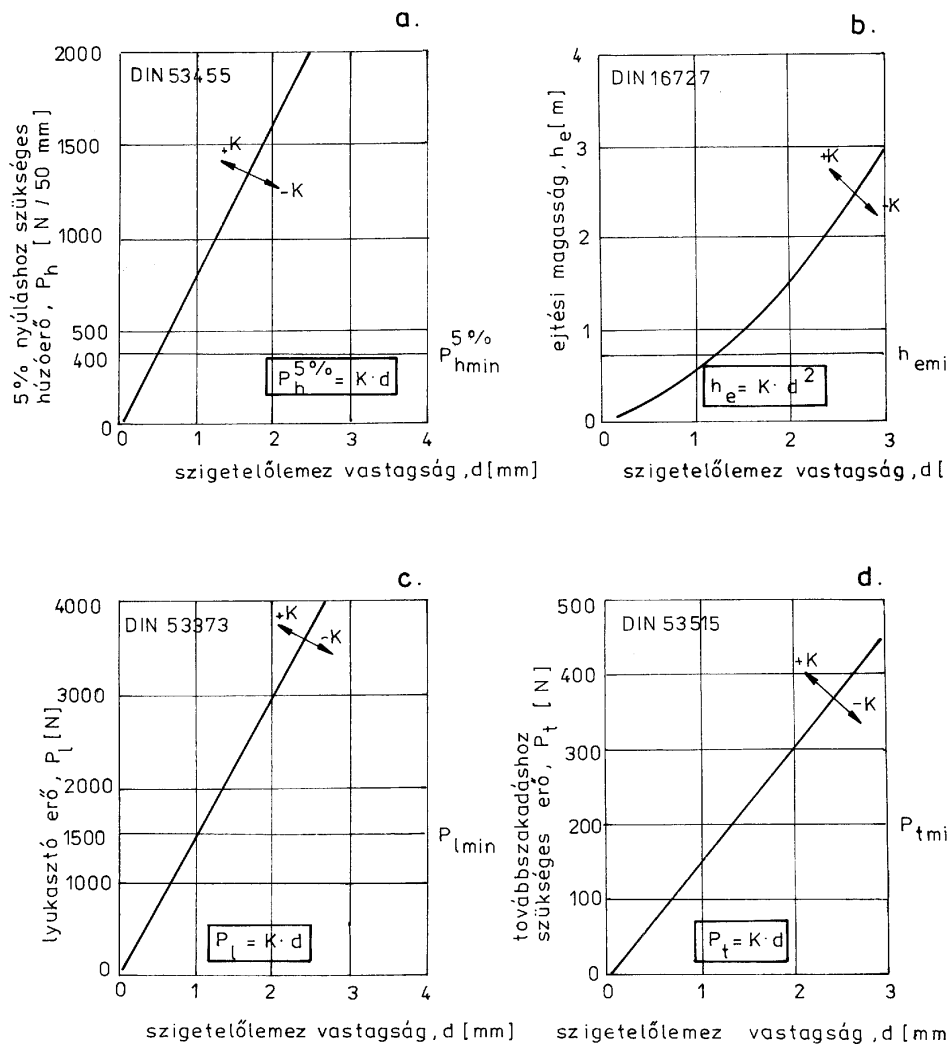
6.9. táblázat

| <b>Geomembrán típusok jellemző tulajdonságai</b> |                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Típus</b>                                     | <b>Előny</b>                                                                                                                                                                    | <b>Hátrány</b>                                                                                                                          |
| <b>PVC</b>                                       | Szervetlen vegyületeknek ellenáll, kedvező húzószilárdság, megnyúlás, lyukasztással szembeni ellenállás, kopásállóság, jó megmunkálhatóság                                      | Szerves vegyületekkel szembeni kis ellenállóképesség, különösen szénhidrogének, oldószerek, olaj esetén, fénynek kitett helyen öregszik |
| <b>HDPE</b>                                      | Jó ellenállóképesség olajokkal, vegyszerekkel, nagy hőmérséklettel szemben                                                                                                      | Ragasztása nagyobb figyelmet igényel, kis vastagságban könnyen átlukad, szakító igénybevételt rosszul viseli                            |
| <b>EPDM</b>                                      | Savak, lúgok, foszfátok, szilikátok híg oldataival, hóléval, UV sugárzással szemben ellenálló. Elviseli a nagy hőmérsékletet, kis hőmérsékleten flexibilis, különösen kopásálló | Nem ajánlott kőolaj származékok, halogénezett oldószerek esetén, ragasztása nehéz, kis kötőszilárdság, javítása nehézkes                |
| <b>CSPE</b>                                      | Jól ellenáll: ózon, savak, lúgok, UV sugárzás, baktériumok hatásának, könnyű ragasztani, magas hőmérsékletet elviseli.                                                          | Gyenge ellenállóképesség olajszármazékokkal szemben, erősítés esetén húzószilárdsága megfelelő                                          |
| <b>CPE</b>                                       | Jól ellenáll: UV sugárzás, ózon, időjárás elemek hatásainak, kedvező szilárdsági jellemzők                                                                                      | Gyenge ellenállóképesség savakkal és olajszármazékokkal szemben, gyenge varrat minőség                                                  |

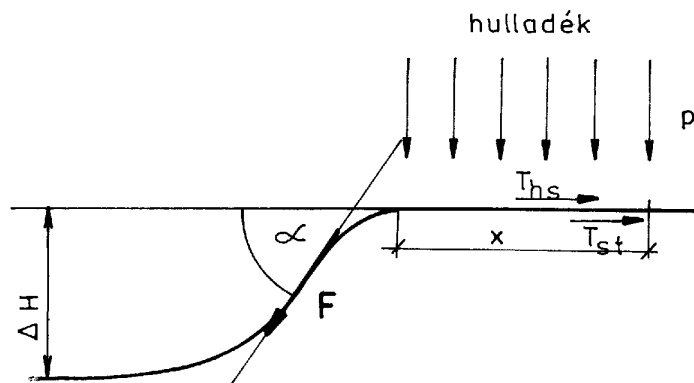
Amennyiben a várható terhelés a bemutatott táblázatokban felsoroltaktól, vagy a vizsgálati körülményektől lényegesen eltér, úgy minden esetben egyedi összeférhetőségi vizsgálatot kell végezni (KOERNER, 1986.):

- ha a vegyület nem egykomponensű, s a hatása nem ismert (pl. nem becsülhető összetételű csurgalékvíz);
- ha a geomembrán nem egykomponensű;
- ha a geomembránok ragasztása (toldása) olyan anyaggal történik, amire az összeférhetőség nem ismert;
- ha a minősítő vizsgálatoktól lényegesen eltérnek az alkalmazási körülmények (pl. szélsőségesen meleg vagy hideg hőmérsékleti viszonyok).

A szigetelőlemez vastagságát elsősorban a *mechanikai igénybevételek* határozzák meg. Mivel a fóliák minősége állandó, a megengedhető terhelést szabványban rögzített vizsgálatokkal elvégezve megadható az adott mechanikai jellemző értéke a lemezvastagság függvényében. Ilyen szabványvizsgálatok (DIN) eredményei láthatók a **6.31. ábrán** HDPE szigetelő lemezre vonatkozóan. A szabványban vagy ajánlásban minimálisan megkívánt értékhez - az 5% nyúláshoz tartozó húzóerő (a); ütési szilárdság, (jellemzője az ejtési magasság) (b); átlukasztáshoz szükséges erő (c); továbbszakadási erő (d); - az ábrák alapján meghatározható a szükséges vastagság.



**6.31. ábra**  
HDPE szigetelőlemezek DIN szerinti vizsgálati eredményei (KNIPSCHILD, 1985.)



**6.32. ábra**  
A szigetelőlemez vastagságának számítása



A szükséges vastagság meghatározását elvégezhetjük a *tényleges igénybevételeken* alapuló számítással is (KOERNER, 1986.). Példaként tételezzük fel, hogy a **6.32. ábrán** látható szigetelés  $\Delta H$  süllyedést szenved, legyen:

$\Delta H$ : a bekövetkezett süllyedés,

$F$ : a szigetelőlemezben mobilizált erő ( $F \leq \sigma_f \cdot d$ ),

$\sigma_f$ : a szigetelőlemez folyási határa (vagy a megengedhető feszültség),

$d$ : a szigetelőlemez vastagsága,

$T_{hs}$ : a hulladék és a szigetelőlemez közötti súrlódási erő,

$T_{st}$ : a szigetelőlemez és a talaj közötti súrlódási erő,

$T$ :  $\bar{p} \cdot \tan \delta$ ,

$\bar{p}$ : a szigetelőlemezre a hulladék önsúlyából adódó normálfeszültség,

$\delta_{hs}$ : a hulladék és a szigetelőlemez közötti súrlódási szög,

$\delta_{st}$ : a szigetelőlemez és a talaj közötti súrlódási szög,

$x$ : a mobilizált alakváltozási hossz.

Egységnyi széles sávra felírva az erők  $x$  irányban vett vetületének egyensúlyát

$$\sum F_x = 0 \tag{6.17.}$$

$$F \cdot \cos \alpha = T_{hs} + T_{st} \tag{6.18.}$$

$$\sigma_f \cdot d \cdot \cos \alpha = (\bar{p} \cdot \tan \delta_{hs} + \bar{p} \cdot \tan \delta_{st}) \cdot x \tag{6.19.}$$

A szükséges szigetelőlemez vastagság:

$$d = \frac{\bar{p} \cdot x}{\sigma_f \cdot \cos \alpha} (\tan \delta_{hs} + \tan \delta_{st}) \tag{6.20.}$$

Ha az altalaj és a szigetelőlemez közötti súrlódási szög kisebb, mint a hulladék és a szigetelőlemez közötti, akkor jelentős húzóerő léphet fel. A lemez méretezése az előzőekhez hasonlóan igen egyszerűen megoldható. A **6.33. ábra** jelöléseivel, az egységnyi széles sávra ható erőkre felírt lejtő irányú vetületi egyensúly:

$$G \cdot \sin \alpha + \bar{p} \cdot \tan \delta_{hs} = \tan \delta_{st} (G \cdot \cos \alpha + \bar{p}) + F_h \tag{6.21.}$$

ahol:

$G$ : a szigetelőréteg önsúlya,

$F_h$ : a fellépő húzóerő,

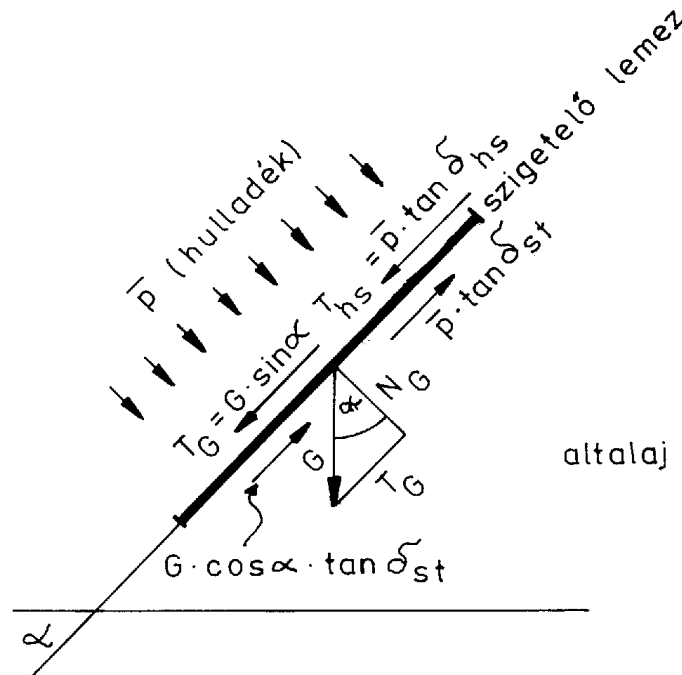
$\bar{p}$ : adott mélységben a hulladék átlagterhelése.

Ekkor

$$F_h = \sigma_f \cdot d \quad (6.22.)$$

és

$$d = \frac{G \cdot \sin \alpha + \bar{p} \cdot \tan \delta_{hs} - \tan \delta_{st} \cdot (G \cdot \cos \alpha + \bar{p})}{\sigma_f} \quad (6.23.)$$



6.33. ábra

A súrlódási erő különbségeiből származó húzóerő számítása

### A szigetelőrendszer felépítése, a kettős és kombinált szigetelőrendszer

Mint már a természetes anyagból készített szigetelőrendszerrel is láttuk, egy depónia megfelelő és biztonságos szigetelését egy több elemből álló szigetelőrendszerrel lehet biztosítani, amely az alábbi elemekből áll:

- tükör (altalajon),
- szigetelőréteg(ek),
- víztelenítő (szivárgó) réteg(ek),
- védőréteg(ek).

Műanyag szigetelőfóliák alkalmazásakor megkülönböztetnek:

- egyszeres, ill.
- kettős szigetelőrendszert.

Mindkettő lehet - a megfelelő szivárgó és védőréteggel kiegészítve - csak műanyag fóliából vagy *kombinált rendszerből* felépített, illetve a kettős rendszernél lehet az egyik réteg (általában a felső) csak műanyag, a másik (általában az alsó) kombinált. A *kombinált szigetelőrendszer*nél a műanyag fólia és a természetes anyagú szigetelőréteg közvetlenül egymásra kerül, esetleg védőréteg közbeiktatásával. Mivel a fenti értelmezés meglehetősen bonyolult, a *továbbiakban kettős szigetelőrendszeren az egymástól független, azonos anyagú, de csak egy-egy szigetelőrétegből álló rendszert* értünk. *Kombinált szigetelőrendszerhez tartoznak a két különböző (mesterséges és természetes) anyagból épített rendszerek.* A természetes és mesterséges réteg kerülhet közvetlenül egymásra (esetleg védőréteg közbeiktatásával), de elválaszthatja őket szivárgóréteg is. A számos lehetséges változatból néhányat a **6.34. ábra** mutat be. *Egyszeres műanyag fóliából álló szigetelést sérülékenysége miatt csak ritkán alkalmaznak, elsősorban gyűjtő tárolók, üzemi tárolók esetén* jöhet számításba, de itt is alapvető feltétel a *megfelelő aljzat kialakítás.*

*Kettős műanyag szigetelőrendszert* mutat be a **6.34.a ábra**. A rendszert legfelül egy *műszaki (geo)textília* réteg védi, amelynek elsődleges szerepe a szűrőréteg eltömődésének a megakadályozása. Az anyag minősége a hulladék összetételétől (vegyszerállóság) és szemcseméretétől függ, a kiválasztás *szempontjait* l. a 6.2.2.1.3. fejezetben. A geokompozit réteg elsődleges szerepe a víztelenítés, de fontos a stabilitás fokozása szempontjából is. Az ilyen típusú szigetelőrendszer előnye a kis szerkezeti vastagság, hátránya viszont a sérülésérzékenység. Különösebben nem terjedt el ez a szigetelési mód. Alkalmazási területe ugyanaz mint az egyszeres műanyag fóliából álló szigetelésnél, de ahhoz képest nagyobb biztonságot nyújt. Az így készült lerakók *nem elégitik ki* a mai értelemben vett *rendezett lerakás* feltételeit, valamint a *többszörös védelem* elvét sem.

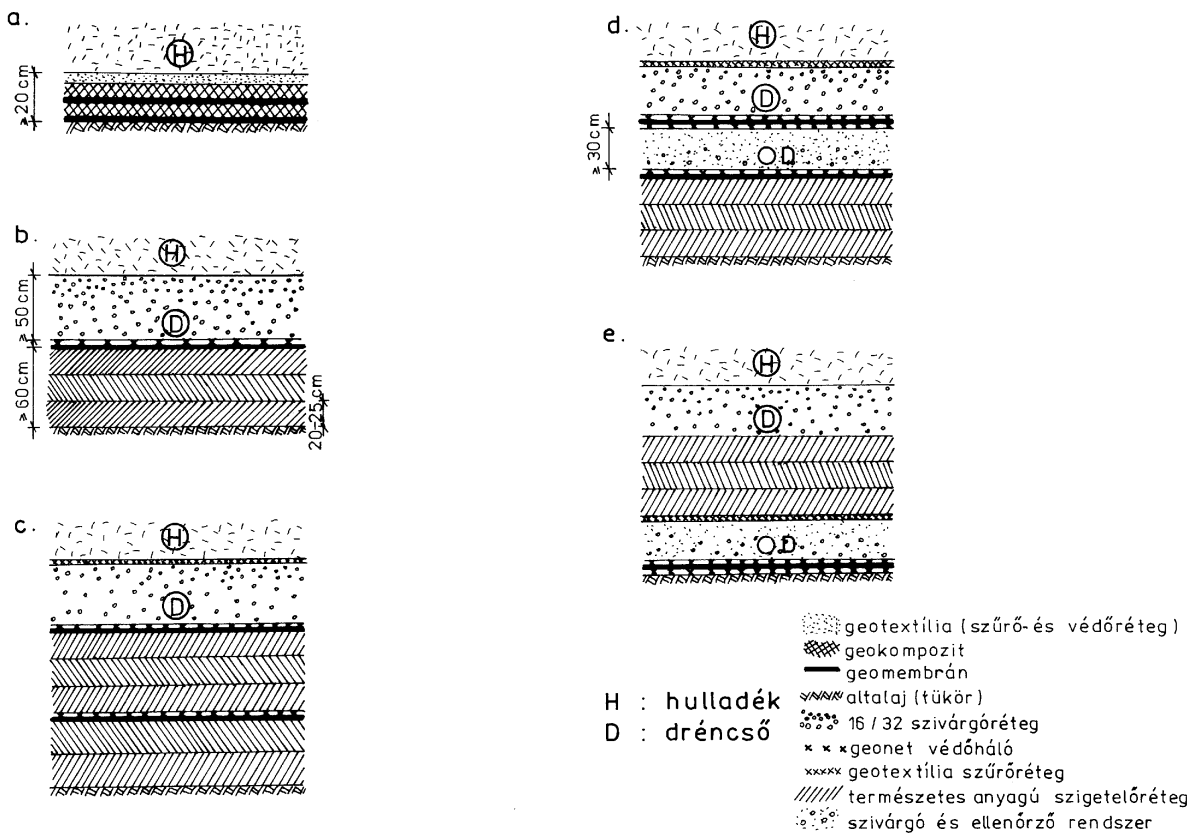
A *kombinált szigetelőrendszereket* elsősorban a *veszélyes hulladékok lerakásánál alkalmazzák*, azonban több, korszerű hulladékelhelyezési törvénnyel (ajánlással) rendelkező országban az *újonnan létesítendő kommunális hulladék-lerakók számára* is megkívánják a *legalább egyszeres kombinált szigetelést* (**6.34.b ábra** STIEF, 1985. HILLEBRECHT, 1986.; KARCZMARYK, 1986.; STEFFEN, 1986.; LECHNER-PAWLICK, 1986.).

A *veszélyeshulladék-lerakók számára* ajánlott kombinált szigetelőrendszer felépítését és az egyes szerkezeti elemek méretét a **6.34.c-e ábra** tartalmazza.

Általános gyakorlat, hogy a hulladék veszélyességi potenciáljának a növekedtével, amit elsősorban a belőle kijutó csurgalékvíz összetételével, az ún. *eluátum osztállyal* jellemezhetünk, a szigetelőrendszer elemeinek a számát növelik. Ez lehet:

- kétszeres kombinált szigetelőrendszer (**6.34.c ábra**);
- kombinált szigetelőrendszer fölötti geomembrán lemez, közötté egy szivárgó-ellenőrző réteggel (**6.34.d ábra**);
- megfelelő vízzáróságú altalajra helyezett geomembrán lemez fölött többrétegű épített agyagszigetelés, közötté egy szivárgó-ellenőrző réteggel (**6.34.e ábra**).

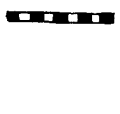
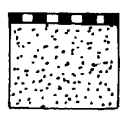

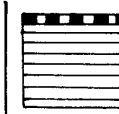
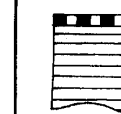
A nemzetközi és hazai gyakorlatban a különböző veszélyességi osztályú hulladékok lerakásánál alkalmazott szigetelőrendszereket, amelyek általában a **6.34. ábrán** feltüntetett elemekből épülnek fel, egy külön fejezet (6.2.2.1.4.) foglalja össze.



**6.34. ábra**  
 Kettős (a) és kombinált (b-e) szigetelőrendszerek  
 (BRANDL, 1989.)

A szigetelőrendszerek megválasztásánál és felépítésénél egyre inkább elfogadottá vált az az elv, hogy annak legalább egy kombinált elemet is kell tartalmaznia. Modellszámítások és laboratóriumi vizsgálatok azt mutatták, hogy a kombinált szigetelőrendszereknél kedvezőbb, ha a műanyag fólia/lemez közvetlenül a természetes anyagból épített rétegre kerül (AUGUST, 1986.).

Ezt alátámasztandó, a **6.35. ábrán** a modellvizsgálatok eredményét láthatjuk, amikor is 1 mm vastag HDPE műanyag fólia és különböző aljzatok esetén vizsgálták az egységnyi felületen átjutó folyadékmennyiséget. Ugyanezt a megállapítást teszi STEFFEN (1986.), aki különböző szigetelőrendszerek meghibásodását és ennek következtében az átjutó folyadékmennyiséget vizsgálta. A **6.10. táblázat** a modellvizsgálatai közül azt mutatja be, amikor a geomembrán 25 cm hosszon meghibásodik. A folyadéknyomás nagysága 30 cm, az agyagréteg vastagsága 60 cm, szivárgóréteg vastagsága 30 cm volt.

| szigetelőrendszer             |                 | geomembrán                                                                        |                                                                                   | kombinált szigetelőrendszer                                                        |                                                                                     |                                                                                     |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |                 |  |  |  |  |  |
|                               |                 | HDPE <sub>1mm</sub>                                                               | HDPE <sub>1mm</sub><br>kavics<br>160mm                                            | HDPE <sub>1mm</sub><br>agyag<br>85mm                                               | HDPE <sub>1mm</sub><br>agyag<br>160mm                                               | HDPE <sub>&gt;2mm</sub><br>agyag<br>600-1000mm                                      |
| (halogénezett) szénhidrogének |                 | $Q_m$ (g / m <sup>2</sup> d)                                                      |                                                                                   | $Q_m$ (g / m <sup>2</sup> d)                                                       |                                                                                     |                                                                                     |
| vízben jól oldódnak           | aceton          | 0,9                                                                               | 2,7                                                                               | 1,9                                                                                | 0,68                                                                                | → 0 ?                                                                               |
|                               | tetrahydrofuran | 1,2                                                                               | 2,2                                                                               | 2,7                                                                                | 1,23                                                                                |                                                                                     |
|                               | metanol         | 0,7                                                                               | 1,2                                                                               | 0,8                                                                                | 0,75                                                                                |                                                                                     |
| vízben rosszul oldódnak       | izo - oktán     | 0,6                                                                               | 0,05                                                                              | 0,001                                                                              | 0,0001                                                                              |                                                                                     |
|                               | toluol          | 2,4                                                                               | 0,06                                                                              | 0,015                                                                              | 0,0004                                                                              |                                                                                     |
|                               | xilol           | 2,0                                                                               | 0,08                                                                              | 0,001                                                                              | 0,0001                                                                              |                                                                                     |
|                               | triklóretilén   | 3,3                                                                               | 0,1                                                                               | 0,001                                                                              | 0,0001                                                                              |                                                                                     |
| tetraklóretilén               | 2,9             | 0,04                                                                              | 0,001                                                                             | 0,0001                                                                             |                                                                                     |                                                                                     |
| klórbenzol                    | 2,1             | 0,02                                                                              | 0,0024                                                                            | 0,0001                                                                             |                                                                                     |                                                                                     |

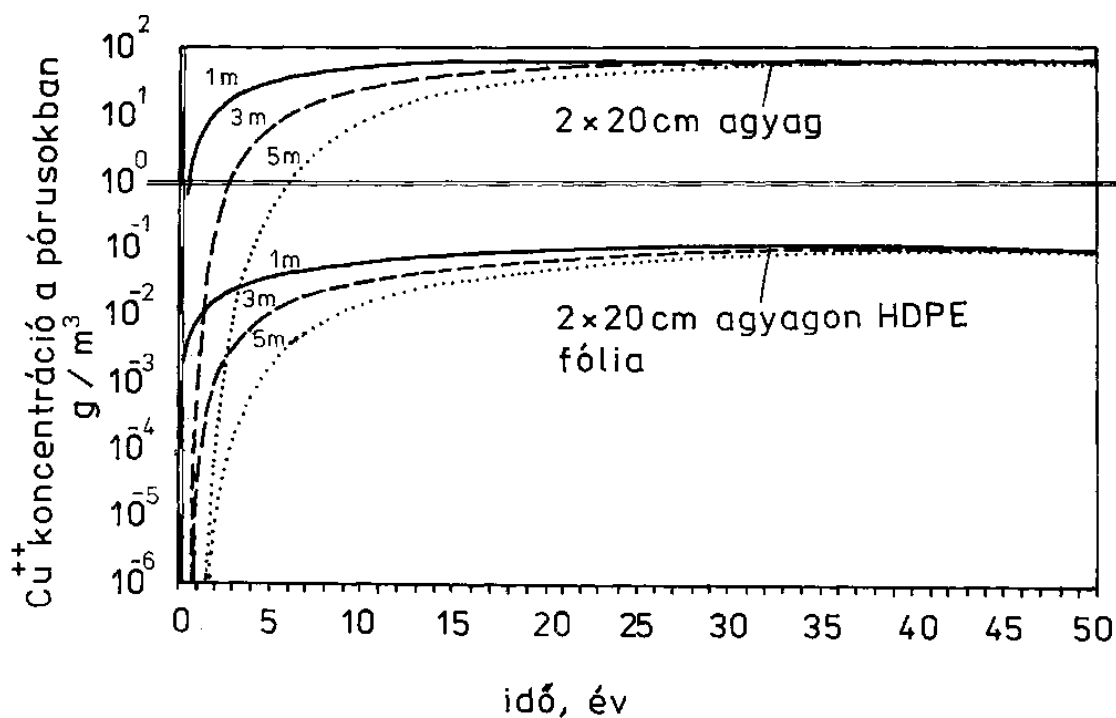
6.35. ábra

Különböző mesterséges és kombinált szigetelőrendszereken átszivárgó szerves vegyületek mennyisége ( $Q_m$ ) laboratóriumi körülmények között (AUGUST - TATZKY, 1987.)

6.10. táblázat

| Meghibásodás esetén a szigetelőrétegen átjutó vízmennyiség HDPE és agyag közvetlen kapcsolata ill. szűrőréteg közbeiktatása esetén (STEFFEN, 1986.) |             |                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------|
| Szigetelőrendszer                                                                                                                                   | k (m/s)     | Évente átszivárgó folyadékmennyiség (m <sup>3</sup> ) |
| Geomembrán közvetlenül az agyagrétegen van                                                                                                          | $1,10^{-9}$ | 0,7                                                   |
| Szivárgóréteg a geomembrán és az agyag között van                                                                                                   | $5,10^{-3}$ | 142,2                                                 |

Ugyancsak az egymásra kerülő agyag geomembrán rétegek hatékonyságát szemlélteti a 6.36. ábra. Az ábrán a 2x20 cm-es agyag, illetve a 2x20 cm-es agyag + HDPE fólián átjutó szennyezőanyag koncentráció ( $Cu^{++}$ ) mélységbeli alakulása látható az idő függvényében, azt feltételezve, hogy a geomembrán megsérül, és rajta egy 5 mm átmérőjű lyuk keletkezik. Mint látható, kombinált szigetelőrendszerrel még a geomembrán fólia sérülése esetén is az átjutó folyadék  $Cu^{++}$ -koncentrációja közel három nagyságrenddel kisebb.



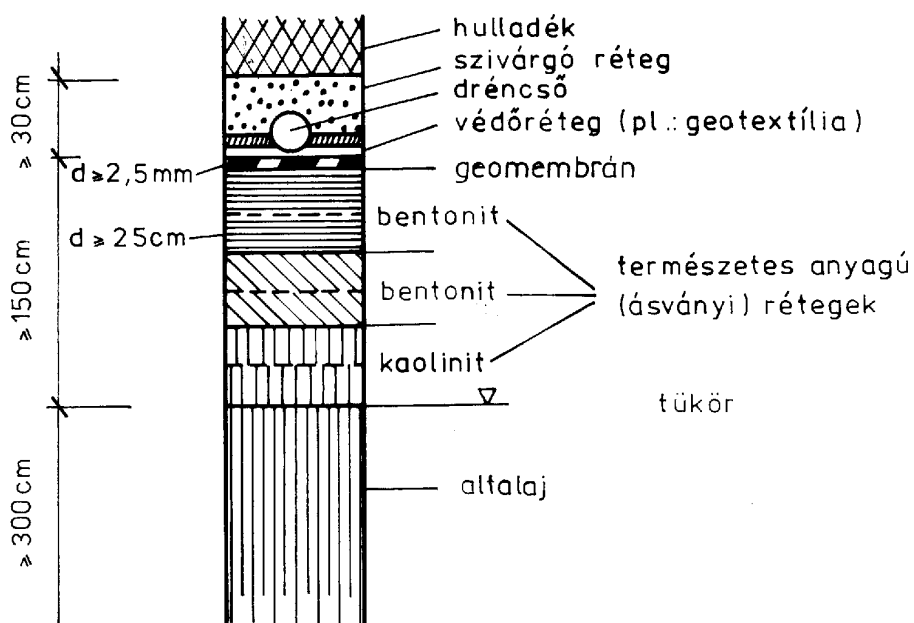
6.36. ábra

A kétrétegű agyag, illetve kombinált szigetelőrendszer hatékonyságának összehasonlítása.

A  $\text{Cu}^{++}$  koncentráció nagysága különböző mélységeken az idő függvényében egy veszélyeshulladék-lerakó alatt  
(KOVÁCS - SZABÓ, 1993.)

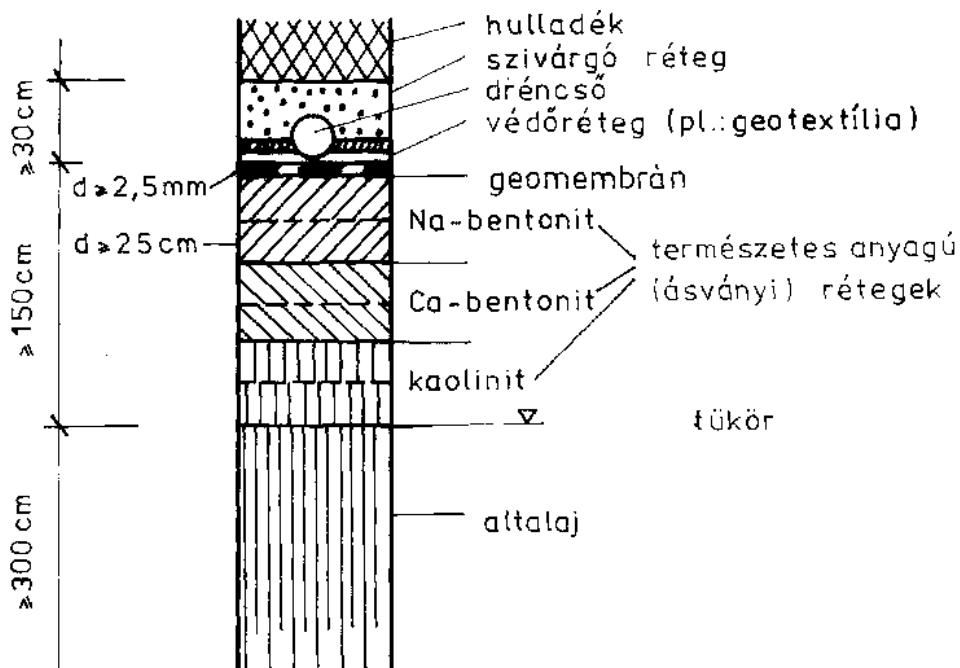
Az eddigiekben ismertetett, ma már általánosan elfogadott és alkalmazott megoldások mellett folyamatosan történnek kísérletek a mind hatékonyabb aljzatszigetelő rendszerek kifejlesztésére is. A **6.37.-6.38. ábrák** a Karlsruhei Egyetemen végzett kísérletek eredményeként az uralkodóan szerves, ill. szervetlen vegyületeket (többnyire nehézfémeket) tartalmazó csurgalékvizek esetén javasolt aljzatszigetelő rendszert láthatjuk. A természetes anyagú, épített szigetelőréteg több különböző domináns agyagásványt tartalmazó rétegből épül fel, így véve figyelembe az agyagásványoknak a csurgalékvíz összetételétől függő viselkedését (CZURDA, 1993.). Még tovább megy a javaslatával BRANDL (**6.39. ábra**), aki a fenti elvet felhasználva a kombinált rétegek megduplázását javasolja, a két rendszer közé beépített szivárgó-ellenőrző rendszerrel együtt. Az ilyen összetett rendszer megtervezését igen alapos, előzetes laboratóriumi vizsgálatok kell hogy megelőzzék, mert csak a kísérletekkel alátámasztott anyagkiválasztás és beépítési technológia fogja a megkívánt biztonságot szolgáltatni.

A természetes anyagú réteg szigetelőképességének növelése mellett a másik lehetőség és irányzat a műszaki védelem fokozása. A **6.40. ábra** MITCHELL és szerzőtársainak (1990.) a *háromrétegű geomembránszigetelő lemezre* vonatkozó javaslatát szemlélteti. Természetesen ezek a rendszerek már rendkívül drágák, s gazdaságosságuk (persze, ha lehet ilyenről egyáltalán beszélni?) erősen megkérdőjelezhető.



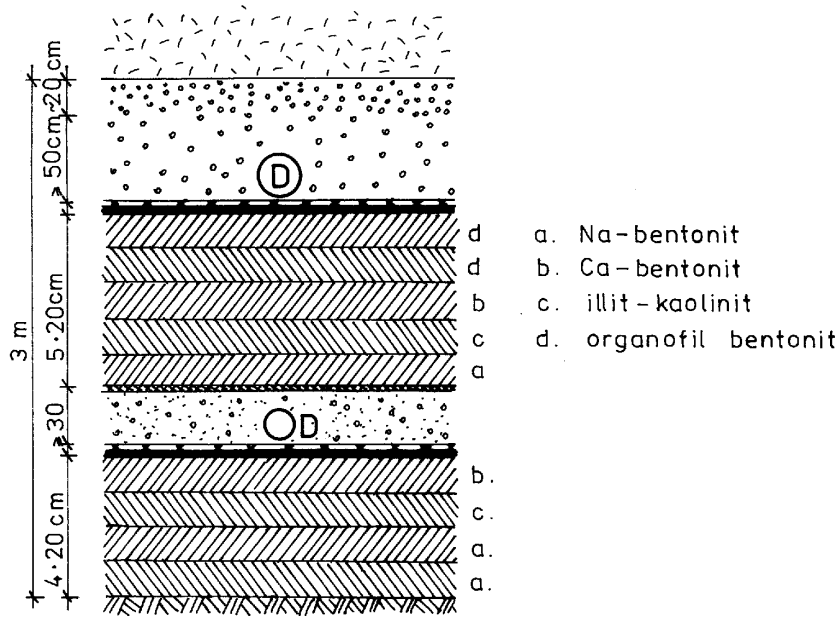
6.37. ábra

A főként szerves vegyületeket tartalmazó csurgalékvizek esetén javasolt aljzatszigetelő rendszer (CZURDA, 1993.)



6.38. ábra

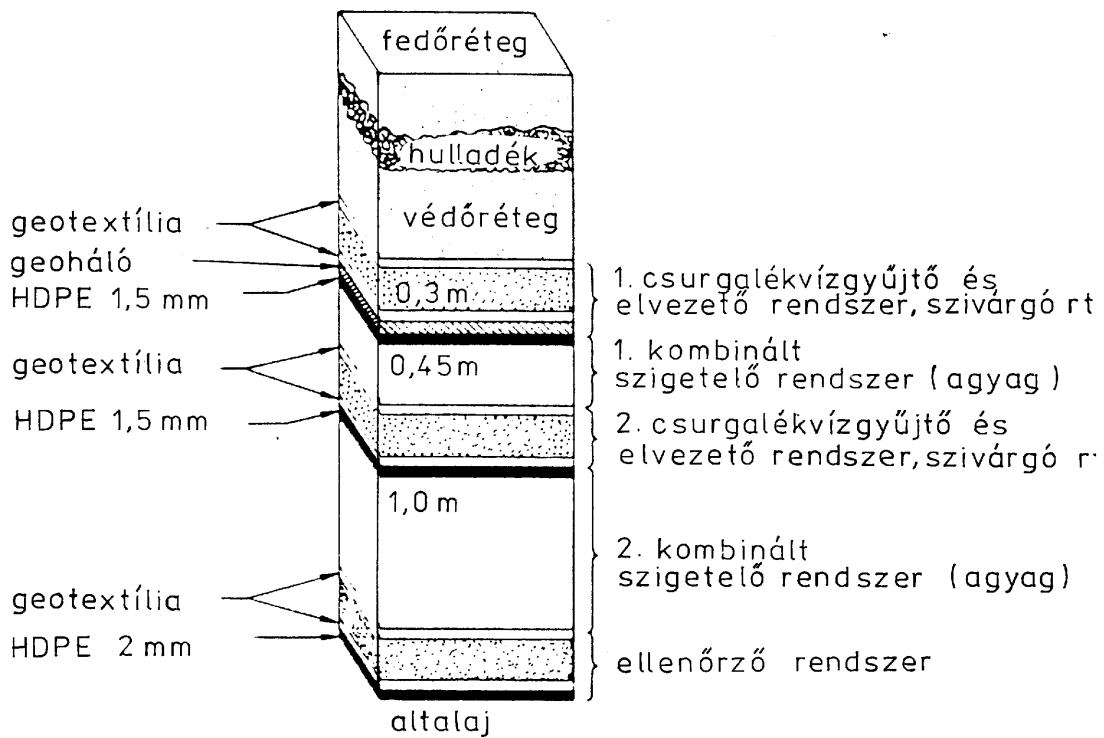
A főként szervesetlen vegyületeket tartalmazó csurgalékvizek esetén javasolt aljzatszigetelő rendszer (CZURDA, 1993.)



(jelkulcs a 6.34. ábránál)

**6.39. ábra**

Többszörösen kombinált szigetelőrendszer  
különösen veszélyes hulladékok lerakása esetén  
(BRANDL, 1989.)



**6.40. ábra**

Többszörösen kombinált szigetelőrendszer  
(MITCHELL et al., 1990.)



### A műanyag szigetelőlemezek fektetése

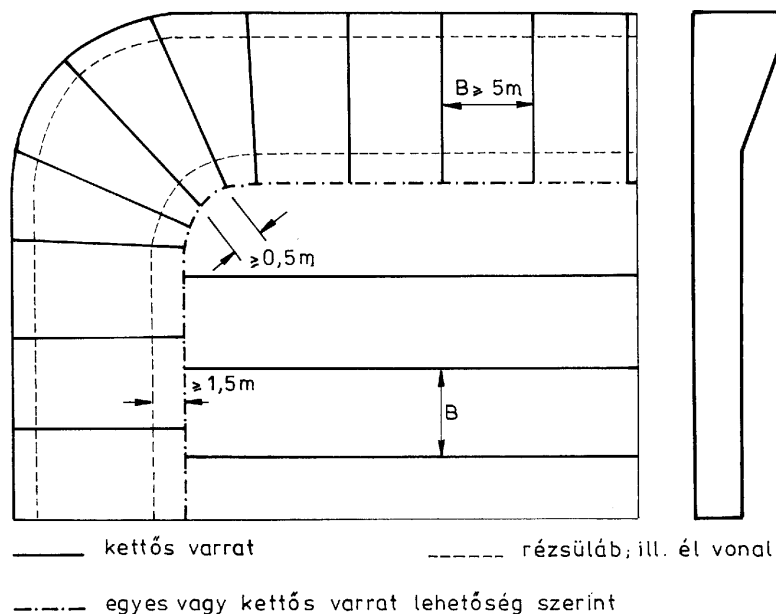
A geomembrán fólia/lemez a megfelelően előkészített általajra vagy épített szigetelőrétegre kerül. Az ágyazási feltételeket a fektetés megkezdése előtt a fektetendő fólia/lemez sérülésének elkerülése érdekében ellenőrizni kell.

A szigetelőlemez szélessége 2-10 m között változik, de többnyire 5-7,5 m, ami azt jelenti, hogy azokat toldani, hegeszteni kell. A lemezek fektetésére általában *fektetési terv* készül, amelyen minden egyes hegesztési varratot fel kell tüntetni. A fektetési terv készítésénél ügyelni kell arra, hogy lehetőleg kevés *kereszt- és extruziós varratot* tartalmazzon. A fektetés csak olyan eljárással történhet, amely az aljzatot nem sérti. Igen kényes pontja a fektetésnek a rézsúoldalon való elhelyezés, különösen ha annak ívelt szakasza is van (**6.41-6.42. ábrák**). Ekkor ajánlatos az alábbiak figyelembevételével (BRÄCKER et al., 1994.):

- a varratok esésirányúak legyenek, eltérésük az esésvonaltól ne legyen nagyobb mint  $15^\circ$ ;
- a rézsúlábnál a varratok távolsága nagyobb legyen mint 0,5 m;
- a rézsúlábnál a varratok távolsága a lábvonaltól legalább 1,5 m legyen;
- a hegesztési varratok lehetőség szerint vizsgálócsatornával kialakított kettős varratok legyenek.

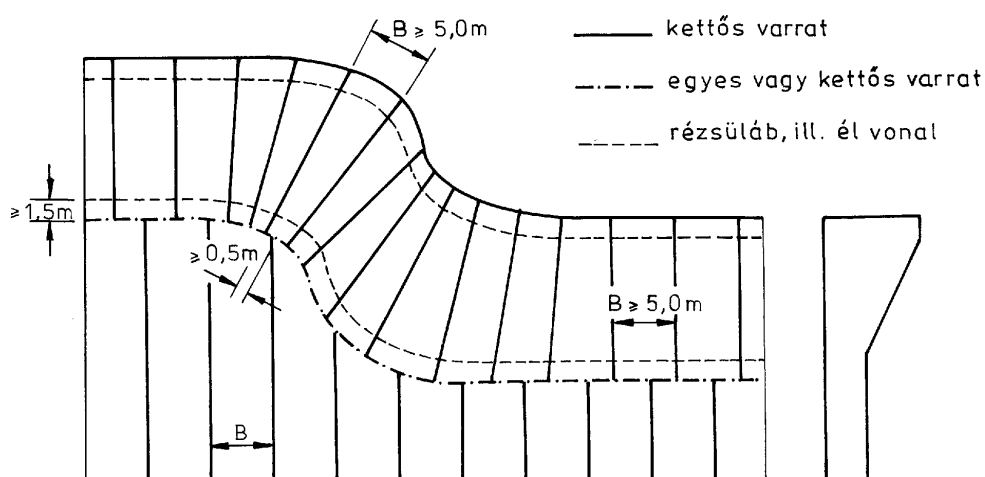
A geomembrán megcsúszással szembeni stabilitásának biztosításához a lemez végét a rézsúéltől megfelelő távolságú és mélységű árokba kell bekötni. Az ajánlott méretek a rézsúhossz függvényében a **6.43. ábrán** találhatóak.

Fektetéskor a lemez hőmérsékletből adódó hullámosodása szinte elkerülhetetlen és ezért megengedett, ez azonban nem vezethet áthajló redők kialakulásához, mert az akadályozza a csurgalékvizek zavartalan bejutását a dréncsőbe. A fektetés során a lemezt a szél elleni védekezésül ideiglenesen terhelni kell.

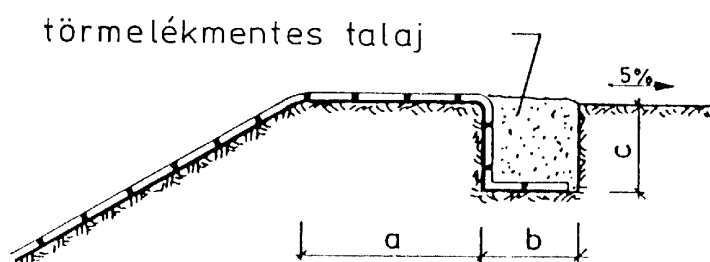


**6.41. ábra**

A szigetelőlemez fektetése rézsús oldalon  
(BRÄCKER et al., 1994.)



**6.42. ábra**  
A szigetelőlemez fektetése ívelt rézsűs szakaszon  
(BRÄCKER et al., 1994.)



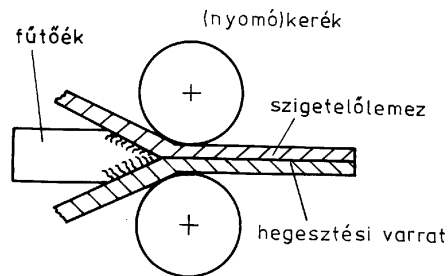
| rézsű-<br>hossz | 0 - 10m            | 10 - 35m           | 35 - 70m            |
|-----------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| a               | $\geq 100\text{m}$ | $\geq 150\text{m}$ | $\geq 2,00\text{m}$ |
| b               | 0,50m              | 0,50m              | 0,50m               |
| c               | 0,50m              | 0,75m              | 1,00m               |

**6.43. ábra**  
A szigetelőlemez bekötésének ajánlott méretei  
(SCHLÜTTER, 1985.)

A szigetelőlemezek helyszíni hegesztése többnyire a következő három módszerrel engedélyezett:

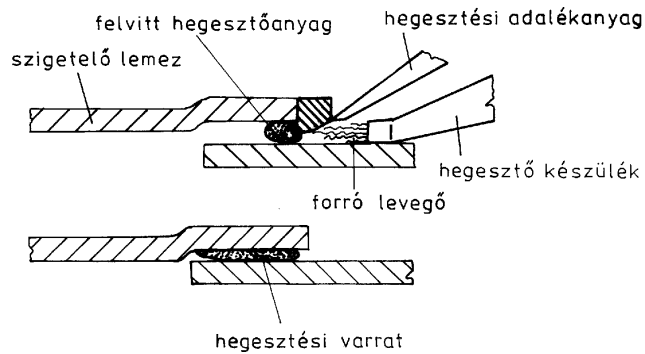
- forróékes-,
- extrúziós- és
- forrólevegős hegesztéssel.

A *forróékes hegesztés* jellemzője, hogy a varratok hegesztőanyag felhordása nélkül készülnek. Az illesztőfelületeket a fűtőékekkel való közvetlen kapcsolattal teszik képlékennyé, majd közvetlenül ezután préseléssel biztosítják a varrat kialakulását (6.44. ábra).



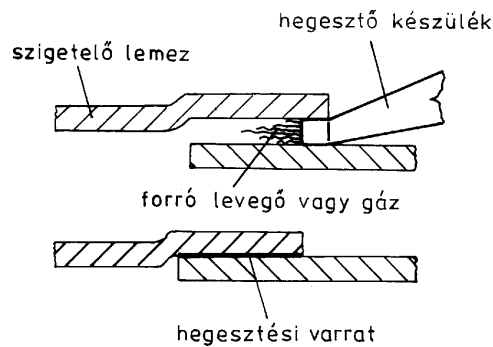
**6.44. ábra**  
Forróékes hegesztés

Az *extrúziós hegesztés* hasonló alapanyagú hegesztőanyag (extrudátum) felhasználásával készül. A hegesztőanyagot egy plasztifikáló egységben (az extruderben) teszik képlékennyé, és egy sajtolónyíláson keresztül, mint hengeres köteget viszik fel az illesztőfelületekre. Az illesztőfelületeket meleg gázzal (pl. levegővel) melegítik fel s juttatják termoplasztikus állapotba. A varratok kialakítása összepréseléssel történik (6.45. ábra).



**6.45. ábra**  
Extrúziós hegesztés

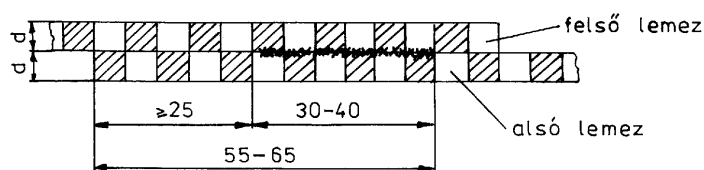
A *forrólevegős hegesztés* szintén hegesztőanyag felhasználása nélkül kerül kialakításra. A forró levegő a szigetelőlemezt termoplasztikus állapotba juttatja, s a varratot a plasztifikálást követő összepréseléssel alakítják ki (6.46. ábra).



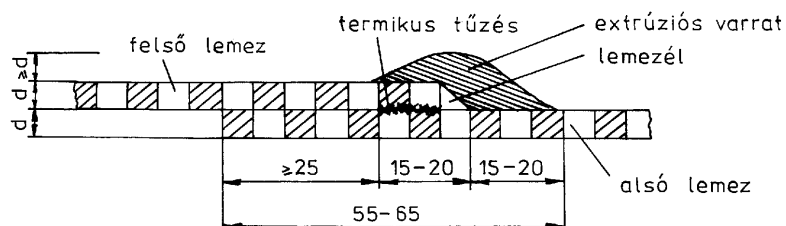
**6.46. ábra**  
Forrólevegős hegesztés

A lemezek átlapolási geometriájának az ajánlott méreteit a **6.47. ábra** mutatja be.

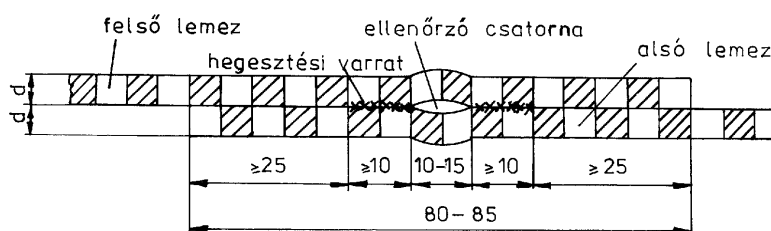
egyes varrat (hegesztési anyag használata nélkül):



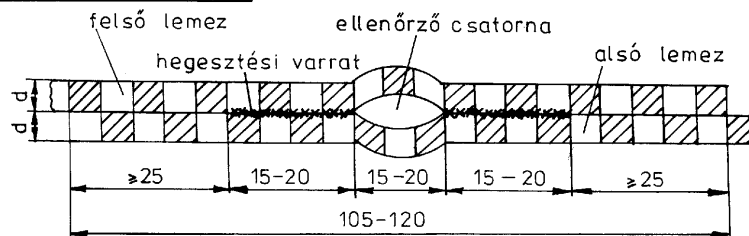
extrúziós egyes varrat:



forróékes hegesztéssel kialakított kettős varrat:



forrólevegős hegesztés:



**6.47. ábra**

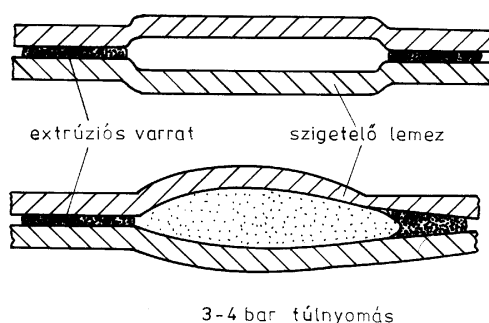
A geomembrán lemezek átlapolási geometriájának ajánlott méretei (mm)  
(SCHLÜTTER, 1985, ÖNORM S2076)

A hegesztési varratok *minőségének az ellenőrzésére* különböző módszerek ismertek.

A *kettős hegesztési varratok ellenőrzése* - teljes hosszukban - a varratok között található *vizsgáló csatorna nyomáspróbájával* (3-4 bar nyomáson, 15 perc vizsgálati idő) történik (**6.48. ábra**).

Az egyes hegesztési varratok ellenőrzésénél alkalmazható módszerek:

- vákuumharangos-,
- nagyfeszültséggel végzett-,
- ultrahangos ellenőrző eljárás.



6.48. ábra

Kettős hegesztési varratok ellenőrzése nyomáspróbával

### ***Keverékanyagból készült aljatszigetelők***

A keverékanyagból készült aljatszigetelések két leginkább ismert módja a *talajcement* és az *aszfaltbeton*.

A **talajcement** réteg tulajdonképpen cement, víz és porított talaj megfelelő arányú összekeverésével és tömörítésével készül. A felhasznált talajban az alábbi feltételeknek kell teljesülniük:

- az iszap- és agyagtartalom kisebb mint 50%;
- a szulfátion tartalom max. 0,2%;
- a szervesanyag tartalom max. 5%;
- pH > 6.

A cementes stabilizálás hazai tapasztalatai szerint a fenti kritériumokat leginkább a homok, iszapos homok, homokliszt, iszapos homokliszt, iszap, esetleg sovány agyag talajok elégítik ki. A cementadagolás szükséges mennyiségét és a legkedvezőbb víztartalmat laboratóriumi kísérletekkel célszerű meghatározni az elérni kívánt vízzáróság figyelembevételével. Ugyancsak vizsgálni kell a tömöríthetőségi, fagyállósági és szilárdsági jellemzőket is.

A javasolt legkisebb tömörített rétegvastagság (amit általában használnak) 30 cm. *Önálló szigetelőréteggént nem alkalmazzák*, mivel terhelés, zsugorodás hatására könnyen repedezik, és nehéz biztosítani a megkívánt vízzáróságot, savas közegben pedig különösen hajlamos a degradálódásra is.

Az **aszfaltbeton** szigetelőanyag alapanyagai az út- és vízépítésből már régóta ismertek. Meghatározott szemcseeloszlású ásványi adalékanyag és 6,5-9,5% bitumen melegen készített, tömörített keveréke. A keverék-összetételt a megkívánt vízzáróság, ill. szilárdság figyelembevételével, az optimális bitumenadagolás meghatározása érdekében célszerű laboratóriumi úton meghatározni.

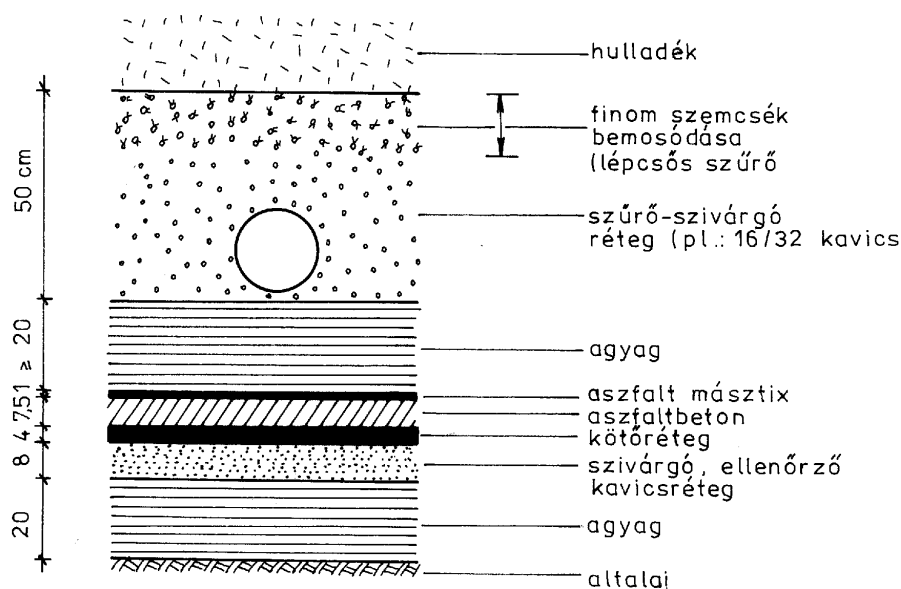
Amennyiben vegyszerállósága - különösen szerves vegyületekkel szemben - megfelelő, akkor a bitumen alapanyagú depónia-szigetelések a természetes alapanyagú- és a műanyag lemezes szigeteléseknek egy igen kiváló kiegészítései, alternatívái lehetnek. Nem öregszik, nem zsugorodik, 2-3%-nál kisebb *pórustérfogat* mellett beépítve *gyakorlatilag vízzáró*, különösen

előnyös tulajdonsága a mechanikai stabilitása. Németországi vízepítési tapasztalatok szerint 100 000 m<sup>2</sup>-nél nagyobb felületen, 1000 körüli hidraulikus gradiens mellett a vízvesztés kisebb volt, mint 1 l/s. Ez azt jelenti, hogy ekkora felület esetén 6 cm vastag szigetelőréteggel számolva a rendszer szivárgási tényezője  $1,0 \times 10^{-11}$  m/s, ami még egy kiválóan megtervezett és kivitelezett aljzatszigeteléshez képest is egy nagyságrenddel kedvezőbb (SCHÖNIAN, 1991.).

Az elkészült aszfaltszigetelések utólagos ellenőrzése (SCHUHBAUER, 1994.) azt mutatta, hogy a szokásos beépítési technológiák mellett a 0-3% pórustérfogat nehezen biztosítható. Míg ez az eltérés a vízepítésben csak jelentéktelen vízmennyiség veszteséggel jár, addig hulladéklerakók esetén a szennyezőanyag kijutása nem engedhető meg.

A kötőanyagként szolgáló *bitumen* a depóniáknál előforduló hőmérsékletek és koncentrációk mellett savakkal és lúgokkal szemben inert, az ún. agresszív vizekkel szemben megfelelő saválló ásványi anyag választás esetén úgyszintén ellenálló. Klórozott szénhidrogéneknek kevésbé áll ellen, és nem teljesen tisztázott a szénhidrogén anyagú oldószerekkel szembeni pontos viselkedése. Az ellenállóképesség jelentősen függ a pórustérfogattól, de viszonylag kevés ilyen jellegű kísérleti eredmény ismert. Ugyancsak nem kielégítőek az ismereteink a bakteriális hatásokkal szembeni viselkedésről sem.

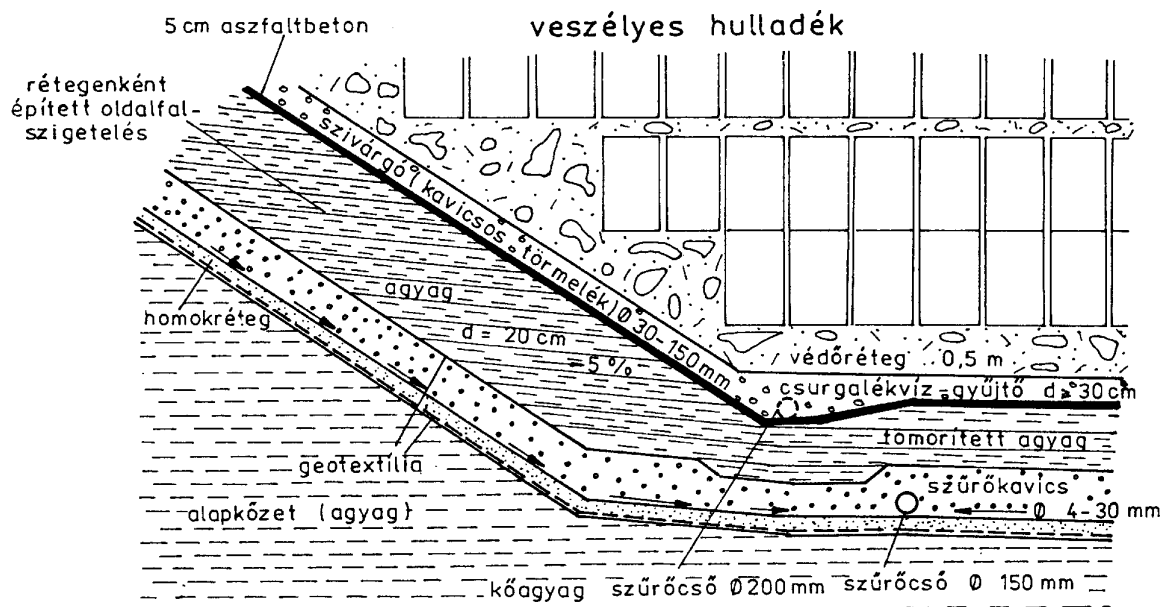
Az *aszfaltbeton-szigetelések vastagsága* aljzaton és oldalrészűn történő beépítés esetén maximálisan 7 cm, ami a mai technikai adottságok mellett egy rétegben beépíthető. A beépítésnél lehetőleg ne kerüljön közvetlenül a kötött altalajra, alá teherbíró réteget célszerű elhelyezni, ami lehet egy szivárgó, ellenőrző réteg is. Utóbbi esetben a *szivárgóréteg* felületét bitumenemulzióval (kb. 500 g/m<sup>2</sup>) célszerű beszórni, hogy a ráhelyezendő háló tapadását elősegítse. Ez megkönnyíti az aszfalt beépítését, de a szivárgó hatásfokát lényegesen nem csökkenti. Különleges esetekben sor kerülhet *többrétegű aszfaltszigetelésre* is, *természetes anyagú szigetelőréteggel kombinálva* (6.49. ábra, BRANDL, 1989.).



6.49. ábra

Aszfaltbetonnal kombinált természetes anyagú szigetelőréteg (BRANDL, 1989.)

Mint látható, az aszfaltszigeteléseknél még számos probléma nem teljesen tisztázott, s ezért egyes kutatók szerint (HORN, 1992.) széleskörű gyakorlati alkalmazása az elkövetkező évtizedben nem várható. Elterjedésük ellen szól a magas költség is. Mindezek ellenére pl. Svájcban 1982 és 1990 között 15 aszfaltbeton szigetelésű depónia épült (ebből 4 db 1990-ben), a szigetelt felület megközelíti a 270 000 m<sup>2</sup>-t, és a többségük *kommunális hulladék-lerakóhely*. Egy aszfaltbetonnal szigetelt veszélyeshulladék-lerakóhely felépítését mutatja be a **6.50. ábra**.



**6.50. ábra**

Egy aszfaltbetonnal szigetelt svájci veszélyeshulladék-lerakó felépítésének a metszete (MÜLLER, 1985.)

Valójában a keverékanyagok közé sorolhatók a *bentonitadagolással* készített szigetelőrétegek, amelyek úgyszintén megfelelő vízzárást biztosítanak. (l. 6.15.-6.17. ábrákat). A szigetelőrétegek e típusát a természetes anyagú szigetelőrétegekkel foglalkozó fejezetben tárgyaltuk.

Már a 70-es évek végén alkalmazták a depónia aljzatszigetelés vízzáróságának javítására a *vízüveget*. A vízüveg bekeverése por alakban történik, elsősorban finomszemcsés talajoknál jöhet szóba. Adagolása a tapasztalatok szerint 0,3-0,7 súly%, ami egy 25 mm vastag tömörített rétegnél 1,5-3,0 kg/m<sup>2</sup> vízüveg port jelent. Az elérhető szivárgási tényező  $5 \times 10^{-10} \div 5 \times 10^{-11}$  m/s (BELOUSCHEK et al., 1990.). A düsseldorfi Monheim III. lerakónál a gyakorlatban is alkalmazásra került, ahol 8-12 % agyagtartalmú iszapos homokliszthez 1,5 kg/m<sup>2</sup> mennyiségben adagolták. Az építés után 6 évvel egy területet kiásva azt tapasztalták, hogy a szivárgási tényező  $5 \times 10^{-9}$  m/s értékről  $(1 \div 2,5) \times 10^{-10}$  m/s-ra csökkent. A rendelkezésre álló kevés tapasztalat azt mutatja, hogy a nagy elektrolit-koncentrációjú, szervesanyag tartalmú csurgalékvizekkel szemben ellenálló, beleértve a kis mennyiségben előforduló klórozott szénhidrogéneket is.

### 6.2.2.1.3. A csurgalékvízgyűjtő rendszer

Mint azt a korábbiakban láttuk, az aljzatszigetelő rendszernek szerves része egy, a *csurgalékvizek gyűjtésére, elvezetésére és ellenőrzésére szolgáló hatékony szivárgórendszer*, amit összefoglaló néven *csurgalékvízgyűjtő rendszernek* nevezünk. Mint már a neve is jelzi, itt is egy több, önálló funkcióval rendelkező elemből felépülő rendszerről van szó. Mint a **6.34.a-e ábrán** láttuk, a szigetelőrétegek felépítésétől függően az aljzatszigetelő rendszerben lehet egy (6.34.a-c ábrák) vagy több, többnyire kettős (6.34.d-e ábrák) szivárgórendszer.

A hulladék és az első szigetelőréteg közé kerülő szivárgórendszer (szivárgópaplan) is legalább két rétegből épül fel. A szigetelőrétegre kerül a *csurgalékvízgyűjtő és elvezető* rendszer, majd e réteg és a hulladék közé egy *szűrő-védő réteget* építenek be. Funkciója - mint a neve is mutatja - kettős: egyrészt elősegíti a csurgalékvíz bejutását a gyűjtő és elvezető rendszerbe, másrészt védi azt a hulladékból bemosódó finom szemcsék bejutásától, megakadályozva eltömődését. A réteget - akár természetes anyagú (laza szemcsés közet), akár műanyag (műszaki vagy geotextília) - méretezni kell, amire külön fejezetben térünk ki. Ugyancsak méretezni kell a csurgalékvízgyűjtő rendszert, hogy a szigetelőrétegnél a megengedettnél nagyobb hidraulikus gradiens ne alakuljon ki, azaz a lejutó csurgalékvizeket visszaduzzasztás nélkül tudja elvezetni.

A *második szivárgóréteg*, ha van, az első szigetelőréteg alá kerül, és úgyszintén kettős célt szolgál: elsődleges az *ellenőrzési funkció* (jelzi a szigetelőrendszer meghibásodását) és másodlagos a *gyűjtő-elvezető funkció*. Megfelelő esések, szektorok kialakításával (pl. 6.12. ábra szerinti esés-ellenesés vagy "háztető" forma) a hibahely könnyebben behatárolható (lásd később a 6.96-6.98. ábrákon).

#### A szűrő-védő réteg méretezése

A szűrő-védő réteg, mint láttuk, általában a *hulladék* és az első szigetelőréteg fölötti *szivárgóréteg közé kerül*, de egyszerűbb esetekben szerepét betöltheti maga a szivárgóréteg is. *Feladata* kettős:

- biztosítani a csurgalékvíz bejutását a szivárgórétegbe;
- megakadályozni a hulladékból kimosódó finom szemcsék révén a szivárgóréteg eltömődését.

Anyaga lehet:

- természetes és
- mesterséges (geotextília).

A *természetes anyagú szűrőréteg*: meghatározott, a *szűrőszabálynak* megfelelő szemcseeloszlású homokból, homokos kavicsból vagy kavicsból épített réteg. A szűrőréteg szemeloszlását alapvetően a hulladék szemcsemérete és szemeloszlása fogja meghatározni, s alkalmazhatunk bármely, már jól bevált szűrőszabályt (pl. kútszűrők, szivárgók méretezése).

A klasszikus megoldás a TERZAGHI féle szűrőszabály, ami a következőket kívánja meg:

$$\frac{D_{15sz}}{d_{85h}} < 4 < \frac{D_{15sz}}{d_{15h}} \quad (6.24.)$$



A szűrőréteg szemeloszlása megfelelő, ha a szemeloszlási görbéjén a 15 súlyszázalékhoz tartozó szemcseátmérő ( $D_{15sz}$ ) legalább négyszerese a hulladék megfelelő szemcseméretének ( $d_{15h}$ ), de legfeljebb negyede a 85 súly%-hoz tartozó hulladék szemcseátmérőjének ( $d_{85h}$ ).

A TERZAGHI módszerén kívül számos egyéb szűrőszabály is ismert (HÜNERBERG; TRUELSEN; BIESKE; STOW; KRUSE; FUCHS; KARPOFF; stb.) részletes ismertetése megtalálható a szakkönyvekben (pl. KASSAI-JAMBRIK, 1986.). Az alapgondolatuk lényegében ugyanaz, nevezetesen, hogy a szűrőréteg szemeloszlási görbéjének lefutása közelítőleg párhuzamos legyen a védendő réteggel. Ugyanezen az elven alapul a hulladéklerakóknál jól bevált amerikai ajánlás is (USEPA, 1985.), amely alapgondolatában a 6.24. aránynak megfelelő:

$$\frac{D_{15sz}}{d_{85h}} < 5 \quad (6.25.)$$

$$\frac{D_{50sz}}{d_{50h}} < 25 \quad (6.26.)$$

$$4 < \frac{D_{15sz}}{d_{15h}} < 20 \quad (6.27.)$$

Amennyiben a hulladék (vagy az alulra kerülő finomabb réteg) szemeloszlása nagyon egyenletes (pl. monodepóniák, pernye), azaz  $U < 1,5$ , úgy

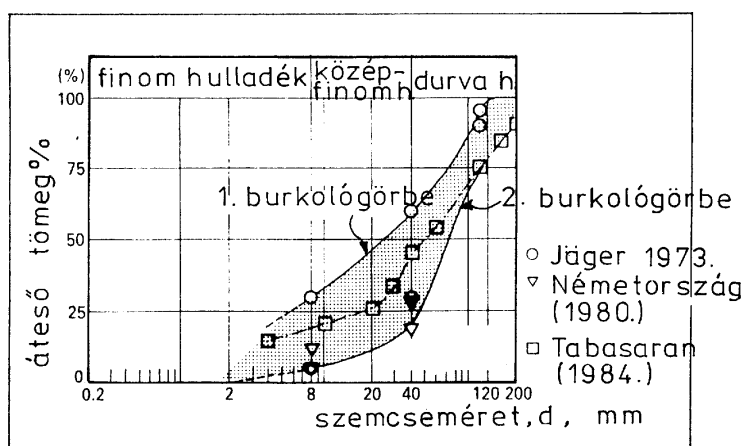
$$\frac{D_{15sz}}{d_{85h}} < 6 \quad (6.28.)$$

Egyenlőtlen szemcseeloszlásnál ( $U > 4$ ) 6.27. helyett használható:

$$4 < \frac{D_{15sz}}{d_{15h}} < 40 \quad (6.29.)$$

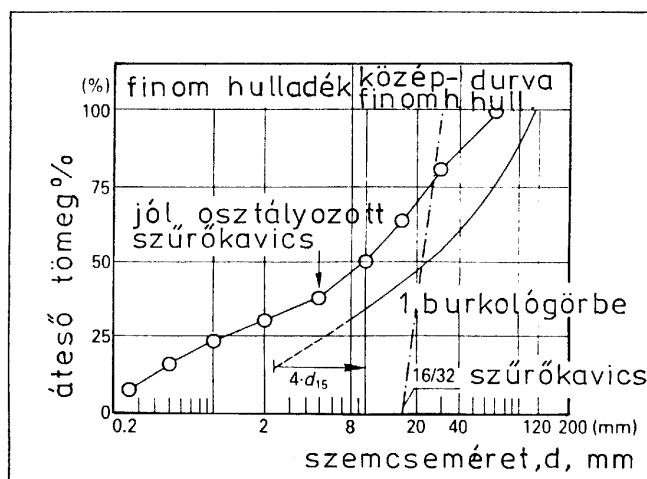
A szűrőszabály alkalmazásánál leginkább problematikus, hogy ritkán ismerjük a lerakandó hulladék ténylegesen várható szemeloszlását, s néhány hulladékfajtánál a "szemcse"-méret is rendkívül tág határok között változhat. A **6.51-6.52. ábrák** a szűrőszabály alkalmazására mutatnak be példát. A 6.51. ábrán különböző szerzők adatai alapján a friss kommunális hulladék szemcseeloszlásának burkológörbéi láthatók. A 6.52. ábrán jól látszik, hogy ebben az esetben nincs szükség a jól osztályozott szűrőkavics alkalmazására, a 16/32-es szűrőkavics megfelelő stabilitást biztosít.

Szűrő-védő réteggként a természetes anyagú szemcsés rétegek mellett (helyett) egyre inkább tért hódítanak a geotextíliák.



6.51. ábra

A háztartási hulladék szemcseeloszlása irodalmi adatok alapján (RAMKE, 1991.)



6.52. ábra

A háztartási hulladék, a jól osztályozott szűrőkavics és a 16/32 mosott kavics szemcseeloszlásának összehasonlítása (RAMKE, 1991.)

### A geotextíliák alkalmazása és kiválasztása

A geotextíliák az elmúlt időszakban igen széleskörű alkalmazást kaptak mind a mély- mind a vízépítésben. Anyagukat tekintve ma már többnyire a szintetikus anyagokat alkalmazzák.

Ezek:

- poliamid,
- poliakrilnitril,
- poliészter,
- polipropilén,
- polietilén,
- nagy sűrűségű polietilén.

A szövet kialakítása történhet szövással vagy tűzéssel, esetleg más technológiával, és ennek alapján megkülönböztetünk:

- szövött-,
- nem szövött textíliát.

A nem szövött textíliáknál az elemi szálak elrendeződése véletlenszerű. Gyors térnyerésüket elsősorban a kedvező mechanikai, kémiai és biológiai tulajdonságaiknak, ellenállóképességüknek köszönhetik.

Kiválasztásuknál a következő szempontokat kell mérlegelni:

- biológiai, kémiai, fotokémiai és hőmérsékleti stabilitás;
- megfelelő húzószilárdság, szakadási-nyúlás;
- pontszerű erővel szembeni ellenállóképesség;
- fajlagos tömeg;
- vízáteresztő-képesség;
- szűrőképesség.

A depóniaépítésnél a következő funkciókat láthatják el:

- a súrlódás növelése a talaj és a szigetelőlemez között;
- a műanyag szigetelőlemez mechanikai védelme a pontszerű (lyukasztó) erőhatásokkal szemben (l. pl. 6.34.; 6.37.; 6.38.; 6.68. ábrákon);
- a szivárgórendszer eltömődésének a megakadályozása (l. pl. 6.34.c-d, 6.68. ábrákon);
- a dréncső eltömődés elleni védelme;
- talajerősítés a húzóerők felvételének érdekében.

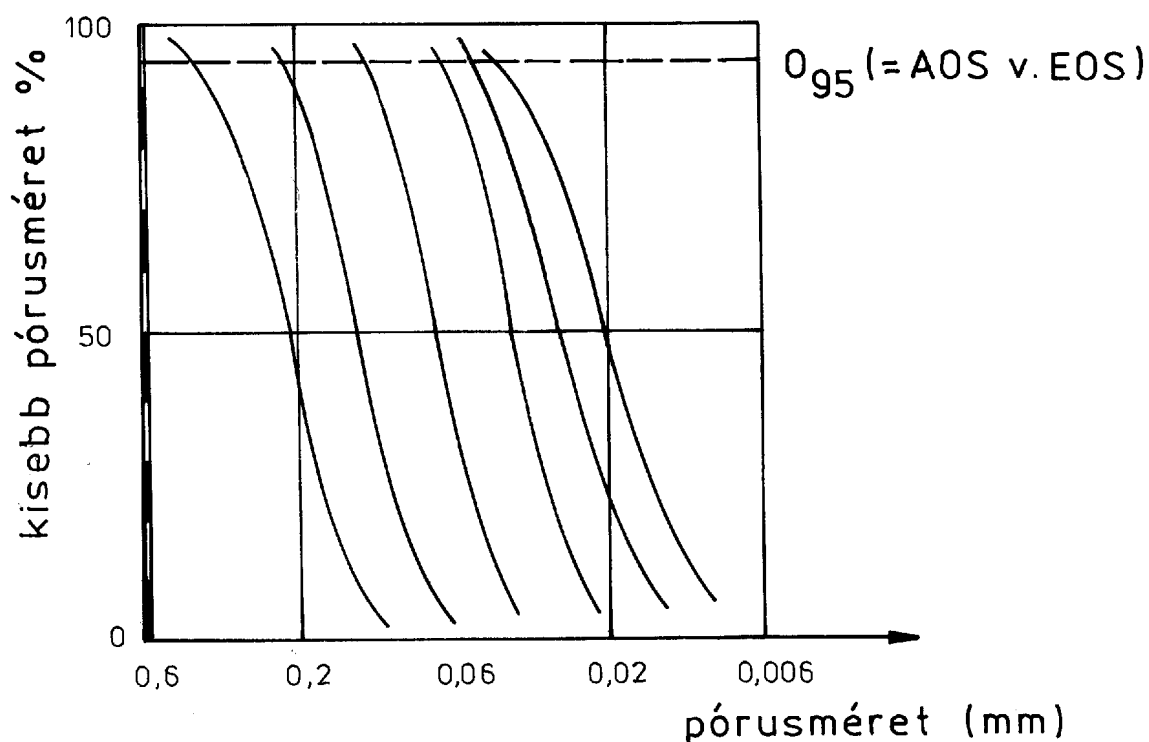
A geotextíliák és a talaj, valamint a geomembrán közötti súrlódási jellemzők meghatározását és a jellemző értékeket a 5.4.4. fejezetben találhatjuk.

A műanyag szigetelőlemez mechanikai védelmére történő alkalmazáskor a kiválasztás szempontjai megegyeznek a szigetelőlemezre vonatkozóakkal (lásd a 6.2.2.1.2. fejezetben), azaz mind a mechanikai, mind a biológiai, mind a kémiai behatásokkal szembeni ellenállóképességet mérlegelni kell.

Ebben a fejezetben a geotextíliák alkalmazását és kiválasztását (méretezését) elsősorban a *szűrőréteggént való alkalmasság* szempontjából tekintjük át.

*Szűrő-védő réteggént* való méretezésnél itt is a kettős szerepét (legyen áteresztő, de akadályozza meg az eltömődést) kell figyelembe venni, de ugyanakkor méretezni kell a várható mechanikai igénybevételekre is.

A *geotextíliák áteresztőképessége* (éppúgy, mint a közeteknél) a *pórusméret-eloszlásnak* lesz a függvénye, ami vizsgálatokkal egyszerűen meghatározható (KOERNER, 1986.), és a szemeloszlási görbékhez hasonlóan ábrázolható (**6.53. ábra**).

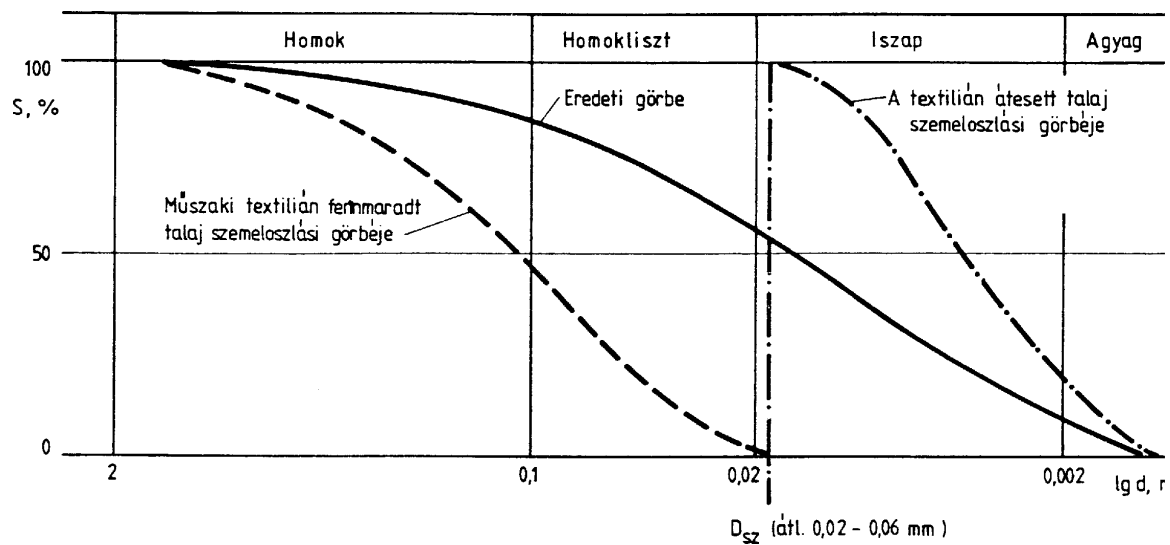


6.53. ábra

Geotextiliák pórusméret-eloszlási görbéi. Az  $O_{95}$ -érték értelmezése (KOERNER, 1986.)

A szűrőréteggént való méretezésénél felhasználhatjuk a pórusméret-eloszlási görbét (amit a gyártók is rendszerint megadnak), de *elegendő csak egyetlen pórusméret ismerete is*. Az  $O_{95}$  értelmezése a 6.53. ábrán található, s nem más, mint az a pórusméret, aminél a szövet pórusainak 95%-a kisebb. Meghatározása a pórusméret-eloszlási görbe hiányában kísérleti úton történik a következők szerint: adott mennyiségű, ismert méretű üveggolyókkal *meghatározzuk azt a szemcse(golyó) méretet*, amelyiknél a szöveten áthulló mennyiség 5%, vagy annál kevesebb, azaz a szövet pórusainak legalább 95%-a kisebb ( $O_{95}$ ). A gyártók gyakran adják meg az  $O_{95}$  helyett az AOS (apparent opening size) vagy az EOS (equivalent opening size) számot, ami valójában ugyanazt jelenti, de nem szemcseméretben (mm), hanem szabvány szerinti szítaszámmal kifejezve.

A szivárgóréteg eltömődését itt is a megfelelő pórusméretű geotextília választással akadályozhatjuk meg. A kiválasztást elvégezhetjük kísérleti úton, amikor azt vizsgáljuk, hogy az illető geotextília milyen szemcsenagyság visszatartására képes. A vizsgálatot a talajokra vonatkozó ajánlás(ok)hoz hasonlóan végezhetjük el. Meghatározzuk a hulladék (vagy a lerakó aljára kerülő finomabb szemcséjű réteg) szemeloszlási görbéjét, majd a vizsgálatot megismételjük oly módon, hogy a textilanyagból készített mintán mérjük az átjutó szemcseméreteket. Akár a fennmaradt, akár az átjutott részre újabb szemeloszlást végezve meghatározható a hiányzó (átesett, ill. fennmaradt) frakció, és az átesett rész legnagyobb átmérőjű, vagy a fennmaradt rész legkisebb átmérőjű frakciójából meghatározható a geotextília szemcse-szűrő képessége (MARCZAL, 1986.), amint azt a 6.54. ábra is mutatja.



6.54. ábra

A geotextília szemcseszűrő képességének a meghatározása  
(MARCZAL, 1986.)

Hasonlóan a laza-szemcsés közetekre vonatkozó szűrőszabályhoz, a geotextíliák szűrő-képességére is számos kritérium ismert, de ezek többségét is talajokra dolgozták ki, így alkalmazásuk némi óvatosságra int. A legátfogóbb ajánlási rendszert GIROUD (1982.) adja, amit a **6.11. táblázatban** találhatunk.

6.11. táblázat

| <i>A geotextíliákra vonatkozó szűrőszabály (GIROUD, 1982.)</i> |                                      |                                   |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Relatív tömörség                                               | $1 < U < 3$                          | $U > 3$                           |
| Laza                                                           | $O_{95} < U \cdot d_{50h}$           | $O_{95} < 9 \cdot d_{50h} / U$    |
| Közepesen tömör                                                | $O_{95} < 1,5 \cdot U \cdot d_{50h}$ | $O_{95} < 13,5 \cdot d_{50h} / U$ |
| Tömör                                                          | $O_{95} < 2 \cdot U \cdot d_{50h}$   | $O_{95} < 18 \cdot d_{50h} / U$   |

ahol:

$d_{50h}$ : 50 súly %-hoz tartozó szemcseátmérő (hulladék vagy a geotextília fölötti szemcsés réteg)

U: egyenlőtlenségi modulus ( $U = d_{60} / d_{10}$ )

$O_{95}$ : pórusméret, amelytől a geotextília pórusainak 95%-a kisebb

A megfelelő szűrőképességgel rendelkező geotextília kiválasztásánál használható a ROLLIN-DENIS (1987.) által javasolt kritérium is:

$$\text{– ha } d_{50h} > 0,074 \text{ mm} \quad (6.30.)$$

$$\text{akkor } 0,149 \text{ mm} < O_{95} < d_{85h} \quad (6.31.)$$

és

$$\text{– ha } d_{50h} < 0,074 \text{ mm} \quad (6.32.)$$

$$\text{akkor } 0,211 \text{ mm} > O_{95} > 0,149 \text{ mm} \quad (6.33.)$$

A geotextília vízátbocsátása megfelelő, ha

$$k_{gt} > 10 \cdot k_h \quad (6.34.)$$

ahol

$k_{gt}$  : a geotextília "szivárgási tényezője";

$k_h$  : a hulladék alsó rétegének (vagy a geotextília feletti talajrétegnek) a szivárgási tényezője.

Kétségtelen, hogy a szűrőréteggént használt geotextíliák a hulladékkal (különösen kommunális hulladékkal) érintkezve hajlamosak az eltömődésre, a fentiekben ismertetett szűrőszabályok tehát elsősorban tájékoztató értékűek, igazán jó eredményt csak a tényleges, előzetes laboratóriumi vizsgálatoktól várhatunk.

### *A szivárgóréteg méretezése*

A szivárgóréteg (paplan) alapvető rendeltetése, hogy

- a fölötte lévő szűrő-védő rétegen átjutó csurgalékvizet a lehető legkisebb ellenállással gyűjtse össze és vezesse el;
- akadályozza meg a megengedettnél nagyobb folyadéknomás (általában  $h_{max} < 30$  cm) kialakulását;
- csökkentse a csurgalékvíznek az alatta lévő szigetelőrétegre jutó káros hatását.

A szivárgóréteg *tervezésénél* kiindulhatunk abból az ajánlásból, hogy vastagsága legalább 30 cm, szivárgási tényezője pedig legalább  $10^{-4}$  m/s, vagy nagyobb legyen (l. 6.66.-6.68. ábrákat).

Amennyiben a réteg a szűrő és szivárgó funkciót is betölti, vagyis nincs felette külön szűrőréteg, úgy az előzőekben ismertetett *szűrőszabály* szerint is méretezni kell az eltömődés megakadályozása érdekében. Ha fölötte szűrőréteg van (szemcsés közet vagy geotextília) anyaga általában 16/32 szűrőkavics, amelynek a  $CaCO_3$ -tartalma kevesebb mint 20% (BRUNE, 1994.).

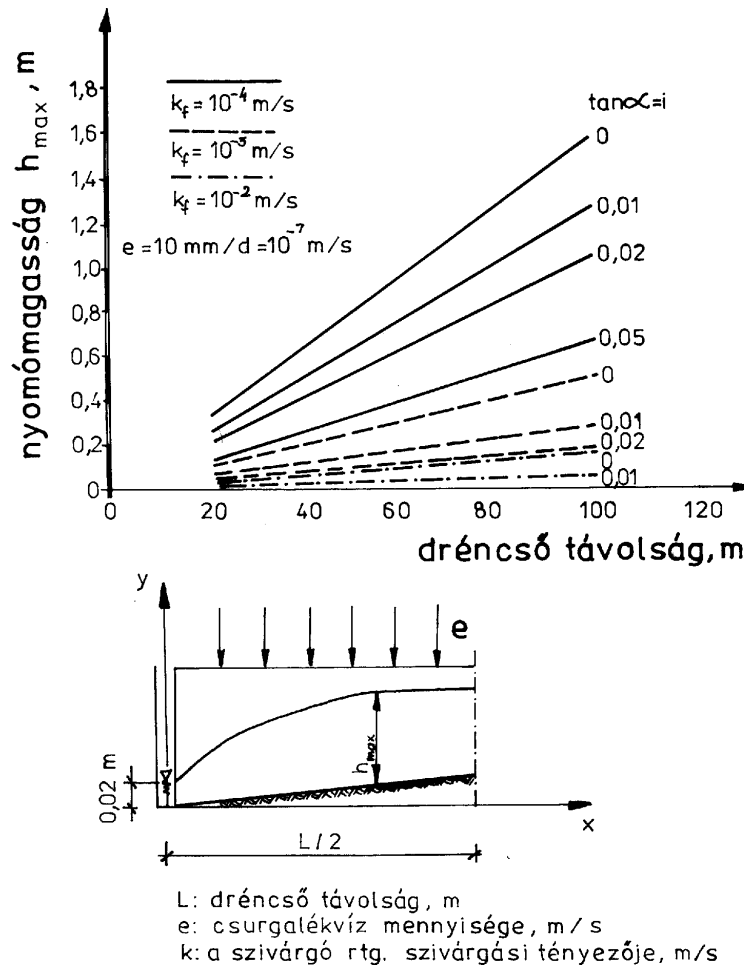
Az előírások és a szűrőszabály betartásával megtervezett és beépíteni kívánt szivárgóréteg *hatékonyságát* célszerű konkrét számítással is *ellenőrizni*, hogy meggyőződjünk róla, hogy a *szigetelőréteg fölött nem alakul-e ki a megkívántnál nagyobb víznyomás*.

A méretezés különösen a sík területen épült lerakóknál lényeges, mert a völgyfeltöltéseknél az aljzat esése általában biztosított. A méretezésnél a következő probléma megoldására keressük a választ:

- a hulladékból adott intenzitással kijutó csurgalékvíz elvezetéséhez milyen legyen a csurgalékvízgyűjtő rendszer felépítése (áteresztőképessége, hossz- és keresztirányú esése, a dréncsövek távolsága), hogy egy megadott  $h_{max}$  értéknél nagyobb víznyomás ne alakuljon ki a depónia aljzaton?

A fenti paraméterekből a csurgalékvíz intenzitás ( $e$ ) és a  $h_{max}$  megengedhető nyomómagasság értéke adott. Utóbbinál általában azt kívánjuk, hogy értéke ne haladja meg a 30 cm-t, azaz a maximális nyomásszint a szivárgórétegen belül maradjon, a hulladék aljának folyamatos vízben állásának megakadályozása érdekében. A keletkező csurgalékvíz intenzitása többnyire számítható (becsülhető), a meghatározási lehetőségeket a hulladéklerakók vízháztartásával foglalkozó fejezetben (7.3.) találjuk. A tervezés során némi mozgástér a dréncsótávolság, a

hossz- és keresztirányú esés, a szivárgó paplan  $k$  tényezőjének a megválasztásánál adódik, a három paraméterből kettő rögzítése meghatározza a harmadik értékét, mint azt a **6.55. ábra** is szemlélteti.

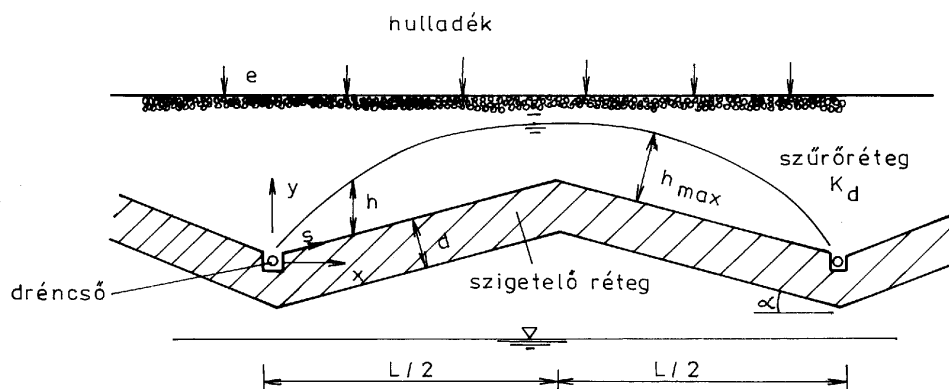


**6.55. ábra**

A dréntávolság, az aljzat-esés és a nyomómagasság kapcsolata  
 (RAMKE, 1991.)

A **6.56. ábra** a csurgalékvízgyűjtő rendszer modelljét szemlélteti. A dréncsövek távolsága  $L$ , a szigetelőréteg a dréncsövek felé  $\alpha$  szöggel lejt. A hulladékból a szivárgórétegbe bejutó csurgalékvíz intenzitása legyen  $e$ . Ha feltételezzük, hogy a szigetelőrétegen keresztül nincs elszivárgás (ha van, az akkor is nagyságrendekkel kisebb, mint a dréncsőben távozó vízmennyiség), akkor a dréncsőtől  $L/2$  és  $x = s \cdot \cos \alpha$  távolság között egységnyi széles sávon lejutó vízmennyiség egyenlő a dréncső felé a  $h$  függőleges metszeten távozó vízmennyiséggel, azaz:

$$e \cdot \left( \frac{L}{2} - s \cdot \cos \alpha \right) = k_d \cdot h \cdot \frac{d}{ds} (h + s \cdot \sin \alpha) \quad (6.35.)$$



6.56. ábra

A csurgalékvízgyűjtő rendszer méretezésének modellje I.  
(McBEAN et al., 1981.)

A 6.35. egyenlet integrálásával

$$\int \frac{e \cdot L}{2} ds - \int e \cdot s \cdot \cos \alpha \cdot ds = \int k_d \cdot h \cdot dh + \int k_d \cdot h \cdot s \cdot \sin \alpha ds \quad (6.36.)$$

A 6.36. egyenlet közvetlenül nem integrálható, de ha feltételezzük, hogy  $h = \text{konstans}$  és  $\alpha$  értéke kicsi, akkor  $h_{\max}$  értékére jó közelítéssel kapjuk, hogy

$$h_{\max} = \frac{L}{2} \left[ \left( \tan^2 \alpha + \frac{e}{k_d} \right)^{\frac{1}{2}} - \tan \alpha \right] \quad (6.37.)$$

A 6.37. összefüggéshez hasonló eredményre jutott MOORE (1980), aki szerint  $h_{\max}$  értékét a (6.38) összefüggés alapján számíthatjuk:

$$h_{\max} = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{e}{k_d}} \left( \frac{k_d \cdot \tan^2 \alpha}{e} + 1 - \frac{k_d \cdot \tan \alpha}{e} \sqrt{\tan^2 \alpha + \frac{e}{k_d}} \right) \quad (6.38.)$$

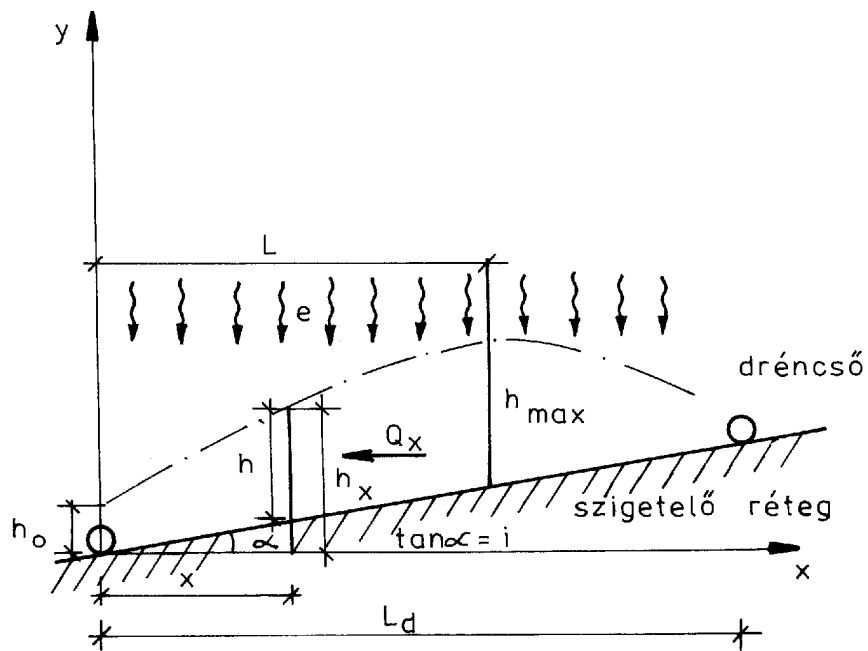
A fentieknél pontosabb és általánosabb megoldást adtak McBEAN és szerzőtársai (1981.). Megoldásukat arra az esetre dolgozták ki, amikor a két dréncső között a szigetelőréteg esése egyenletes. A 6.57. ábra jelölései szerint:

$$h_x = h + x \cdot \tan \alpha \quad (6.39.)$$

és

$$Q_x = k_d \cdot A_x \cdot \frac{dh_x}{dx} \quad (6.40.)$$





6.57. ábra

A csurgalékvízgyűjtő rendszer méretezésének modellje II.  
(McBEAN et al., 1981.)

Az előzőeknek megfelelően feltételezve, hogy a dréncsőtől  $x$  távolsáig a hulladékból infiltrációval bejutó folyadékmennyiség egyenlő az  $A_x$  keresztmetszeten átszivárgó hozammal, írhatjuk, hogy

$$Q_x = (L-x) \cdot e \cdot B = k_d \cdot A_x \cdot \frac{dh_x}{dx} \quad (6.41.)$$

ahol

B: a sávszélesség

Az áramlás irányára merőlegesen egységnyi széles sávot véve figyelembe:

$$(L-x) \cdot e = k_d \cdot h \cdot \tan \alpha + k_d \cdot h \cdot \frac{dh}{dx} \quad (6.42.)$$

Bevezetve az

$$E = \frac{e}{k_d}$$

$$w = L - x$$

$$i = \tan \alpha$$

jelöléseket, valamint a  $h = v \cdot w$  transzformációt, a 6.42. egyenletből azt kapjuk, hogy:

$$-\frac{dw}{w} = \frac{v dv}{v^2 - iv + E} \quad (6.43.)$$

A 6.43. egyenletet integrálva:

$$w = \exp \left[ -\frac{1}{2} \ln(v^2 - iv + E) - \frac{i}{2} \left( \frac{2}{\sqrt{4E + i^2}} \tan^{-1} \frac{2v - i}{\sqrt{4E + i^2}} \right) + C \right] \quad (6.44.)$$

ahol

C: az integrálási állandó.

A peremfeltételeket ( $x=0$ ;  $h=h_0$ ) figyelembe véve kapjuk, hogy

$$x = L \cdot \left( 1 - \frac{\left( \frac{h^2}{L^2} - \frac{i \cdot h_0}{L} + E \right)^{1/2}}{\left( \frac{h^2}{(L-x)^2} - \frac{i \cdot h}{(L-x)} + E \right)^{1/2}} \cdot \exp \left\{ \frac{i}{\sqrt{4E + i^2}} \left[ \tan^2 \left( \frac{2h_0 - i}{\sqrt{4E + i^2}} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{2h - i}{\sqrt{4E + i^2}} \right) \right] \right\} \right) \quad (6.45.)$$

A (6.45.) implicit, nem lineáris egyenlet megoldása kicsit nehézkes. Adott  $h_0$ ,  $k_d$  és  $L$  esetén  $h$  helyettesítésével  $x$  számolható, és a művelet többször elvégezve a beszivárgó csurgalékvíz "leszívási görbéje" meghatározható.

Amennyiben a szigetelőréteg vízszintes ( $\alpha = 0$ ), a 6.45. egyenlet a következőképpen egyszerűsödik.

$$h = \sqrt{h_0^2 + 2(L \cdot x - \frac{x^2}{2})} \quad (6.45.a.)$$

A 6.57. ábra szerinti csurgalékvízgyűjtő rendszer méretezésére a gyakorlati problémák megoldására igen jó és egyszerű megoldást adott GIROUD és HOULIHAN (1985.). A tapasztalat szerint az általuk javasolt megoldásnál az elkövetett hiba néhány százalék a pontosabb, több peremfeltételt figyelembe vevő megoldásokhoz képest (MANASSERO et al., 1997.). A javasolt módszer szerint a  $h_{\max}$  értéke az alábbi összefüggésből határozható meg:

$$h_{\max} = A \cdot L \frac{\sqrt{1 + 4\lambda} - 1}{2} \frac{\tan \alpha}{\cos \alpha} \quad (6.46.)$$

$$\text{ahol } \lambda = \frac{e \cdot \tan^2 \alpha}{k_d} \quad (6.46.a.)$$

$$A = 1 - 0,12 \cdot \exp \left[ - \left( \log \left( \frac{8\lambda}{5} \right)^{\frac{5}{8}} \right)^2 \right] \quad (6.46.b.)$$

A 6.37., 6.38., 6.45. és 6.46. egyenletek bármelyike lehetőséget ad arra, hogy adott dréncsőtávolság ( $L$ ), szivárgási tényező ( $k_d$ ) és szigetelőréteg esés ( $\tan\alpha$ ) esetén meghatározzuk a maximális folyadékoszlop-magasságot ( $h_{\max}$ ), és megnézzük, hogy az megengedett-e vagy sem. Amennyiben  $h_{\max} < h_{\text{meg}}$ , a szivárgóréteg megfelelő, de ha  $h_{\max} > h_{\text{meg}}$ , vagy a dréncső távolságát vagy a beépítendő szivárgóréteg szemcseösszetételét, (s ezáltal szivárgási tényezőjét) meg kell változtatnunk, és a számítást ismételtelen el kell végezni.

A  $\tan\alpha$  és  $k_d$  szokásos értékei:  $0,03 \div 0,05$ , ill.  $10^{-3} \div 10^{-4}$  m/s.

A méretezésre számos más és még az ismertettnél is bonyolultabb, több peremfeltételt figyelembe vevő megoldás ismert (WONG, 1977.; DEMETRACOPOULOS - KORFIATIS, 1984.). Figyelembe véve az alapadatok meghatározásának bizonytalanságát (pl. az infiltráció meghatározása, hulladék szivárgási tényezője stb.), a bonyolultabb megoldás is csak a pontosság látszatát kelti.

Meredekebb lejtőkön (pl. völgyfeltöltésnél) a szivárgóréteg kialakítása problematikus, különösen ha az szemcsés kőzetből épül. Megfelelő a szivárgóréteg mesterséges anyagból pl. geotextíliából való kialakítása, ha a transzmisszivitásra (vastagság és a réteggel párhuzamos szivárgási tényező szorzata) teljesül (HEERTEN, 1988.) a

$$T \geq \frac{5 \cdot e}{i} \quad (6.47.)$$

feltétel, ahol

T: a drénréteg transzmisszivitása.

A szivárgórendszer méretezésénél ügyelni kell arra is, hogy a *dréncső* se tudjon eltömődni, így hatékonysága megmaradjon. A mechanikai eltömődés megakadályozásához a következő kritériumokat kell figyelembe venni:

- hasítékolt szűrőcsöveknél:

$$\frac{D_{85sz}}{d_h} > 1,2 \div 1,4 \quad (6.48.)$$

- kör alakú perforációnál:

$$\frac{D_{85sz}}{d_p} > 1,0 \div 1,2 \quad (6.49.)$$

ahol:

$D_{85sz}$ : a szivárgóréteg szemeloszlásánál a 85 súly %-hoz tartozó szemcseátmérő,

$d_h$ : a hasíték szélessége és

$d_p$ : a perforáció átmérője.

A szűrőrendszerek (szűrőréteg, geotextília, dréncsövek) a leg gondosabb tervezés mellett is idővel veszítenek hatékonyságukból, *eltömődhetnek*. Az eltömődés okai a következők lehetnek:

- mechanikai,
- fiziko-kémiai,
- mikrobiológiai.

A mechanikai okokra visszavezethető eltömődést a finomabb szemcsék bemosódása okozza. Ez a hatás elkerülhető, ha a szivárgóréteg megfelelő *mechanikai és szűrő stabilitással* rendelkezik. A mechanikai stabilitás gyakorlatilag a *megfelelő szemcseméretű* réteget, míg a szűrő stabilitás a *megfelelő szemcseeloszlású* réteget jelenti. A mechanikai stabilitás az előírásoknak megfelelő szemcseméretű szűrőrétegnél a *szűrőszabály* betartása mellett biztosítható.

A *fiziko-kémiai és mikrobiológiai* hatások általában együtt jelennek meg az eltömődéssel, és az eredménye az ún. *inkrusztáció*, amikor elsősorban vasoxidok és karbonátok kiválása révén a hatékony pórustér jelentősen csökken. Az inkrusztáció folyamata a víztermelő kutaknál régóta ismert jelenség, s az onnan vett analógia alapján megállapítható, hogy a kiválás, kérgesedés erősebben jelentkezik, felgyorsul, ha a csurgalékvíz:

- pH-ja nagyobb, mint 7,5;
- karbonát keménysége nagyobb, mint 300 mg/l;
- vastartalma a 2,0 mg/l értéket meghaladja;
- mangántartalma nagyobb, mint 1 mg/l.

Mint tudjuk, a fenti értékek a csurgalékvíznél nem jelentenek különösen szélsőséges értékeket. A mikrobiológiai folyamatok során a csurgalékvízben jelenlévő vas és mangánbaktériumok oxidálják és kicsapják az oldott vasat és mangánt (*okkeresedés*), és a folyamat eredményeképpen felszabaduló energiát hasznosítják. A baktériumok jelenlétét nagymértékben segíti, hogy a csurgalékvíz egyébként is nagy mennyiségben tartalmaz számukra hasznosítható tápanyagot.

A szűrőréteg fiziko-kémiai és mikrobiológiai okokra visszavezethető inkrusztációja ellen védekezni nehéz, mert a csurgalékvíz összetételét, pH és redox-potenciál értékét, hőmérsékletét befolyásolni nemigen tudjuk. A folyamatot lehet lassítani, ha:

- növeljük a szűrőrétegben az áramlási sebességet;
- növeljük a szűrőréteg hézagméretét;
- csökkentjük a szűrőréteg fajlagos felületét.

A fentieket elősegíthetjük azáltal, ha:

- a szűrőréteg megfelelő vastagságú (0,3-0,5 m) és anyaga mosott, jól kopatott, kis karbonáttartalmú (<10%), gömbölyded szemcsékből áll;
- megakadályozzuk a finomabb szemcsék bemosódását;
- a csurgalékvízgyűjtő rendszer megkívánt kereszt és hosszirányú esését biztosítjuk;
- megfelelő méretű dréncsövet alkalmazunk, amelynél a perforált felület aránya a mechanikai stabilitást még biztosító lehető legnagyobb;
- a dréncső hálózat lehetőleg ellenőrizhető és utólagosan tisztítható.

### A csurgalékvízgyűjtő rendszer kialakítása

A csurgalékvízgyűjtő rendszer alaprajzi elrendezését és metszetét egy általános esetre a **6.58. ábra** mutatja be. Az ábra szerinti esetben a rendszer szektorokra osztott. A lejutó csurgalékvíz a depónia középvezonától kifelé  $i_h$  hosszirányú és  $i_k$  keresztirányú eséssel kialakított aljzatszigetelő rendszerre kerülő víztelenítő rétegből, annak a mélyvonalába helyezett *dréncsőbe* jut be. A dréncső a *gyűjtőaknába* torkollik. A gyűjtőakna kerülhet mind a depónia szigetelt alapfelületén kívülre (6.58. ábra), mind az alapfelületen belülre. A dombépítéssel kialakított depóniáknál a gyűjtőakna célszerűen a *támasztó töltésen kívülre* (**6.59. ábra**), míg a medenceszerűen kialakított lerakóknál többnyire a *lerakón belülre* kerül (l. **6.97. ábrán**).

A 6.58. ábra szerinti elrendezésnél a *gyakorlatban általánosan alkalmazott méretek, paraméterek* a következők:

A keresztirányú esés ( $i_k$ ): .....  $\geq 3\%$

A hosszirányú esés ( $i_h$ ): ..... 1-2%

A gyűjtőakna távolság

– keresztirányban ( $l_k$ ): ..... 30-50 m

– hosszirányban ( $l_h$ ): ..... max. 300 m.

A víztelenítő réteg

– vastagsága: ..... 30-50 cm

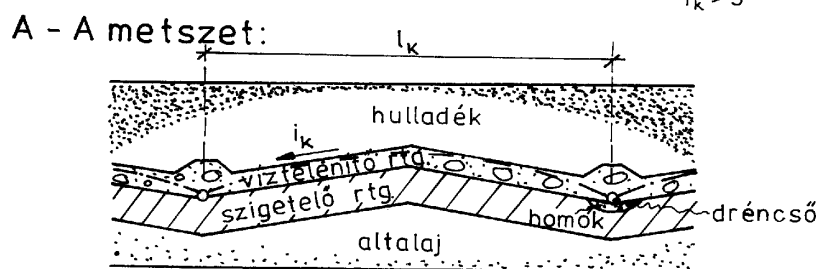
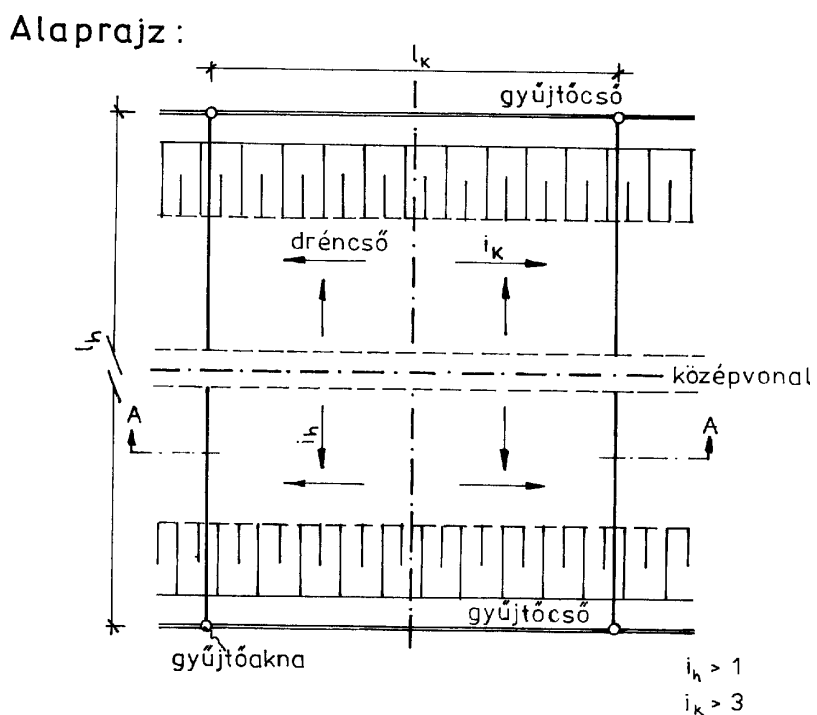
– szivárgási tényezője: .....  $k \geq 10^{-4}$  m/s

– anyaga: ..... 16/32 szűrőkavics.

A dréncső átmérője: ..... 200-300 mm.

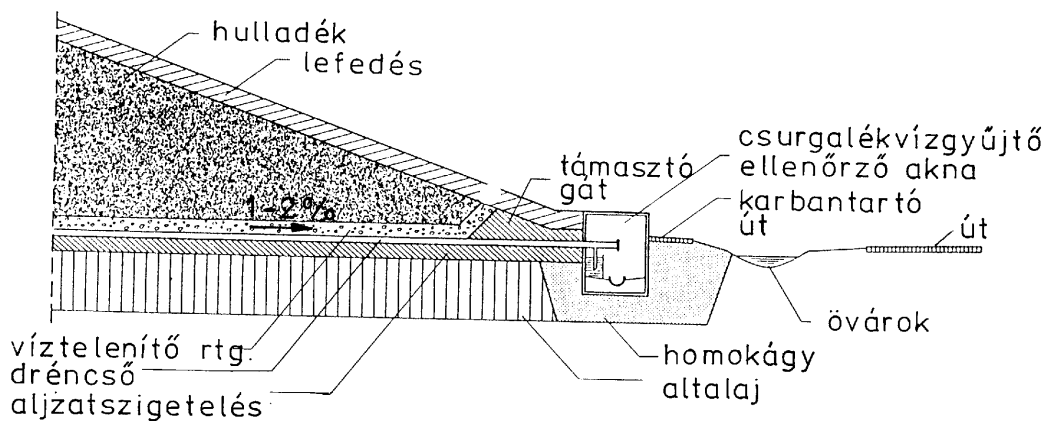
A dréncső beépítésénél a szűrőréteg előírt vastagságának a dréncső fölött is meg kell lennie. A kialakítás néhány lehetőségét német előírások alapján a **6.60.-6.61. ábrák** szemléltetik.

A *csurgalékvízgyűjtő akna* elhelyezése alapvetően a depóniatípus függvénye. Az egyszerűbb megépítést, ill. kialakítást a szigetelt alapfelületen kívülre kerülő akna jelenti. A HT-CARBOFOL szigetelőrendszer előregyártott aknáját szemlélteti a **6.62. ábra**. Az akna elhelyezésének a módját a **6.59. ábrán** láthatjuk. A kivitelezés nyújtotta előny mellett hátránya e rendszereknek - amennyiben sík területen épül a lerakó - a depóniatérbeli nagy földmunka. A csurgalékvízgyűjtő dréncsövek esését (1-2%) az *aljzat süllyedése után* is biztosítani kell. Mivel a süllyedések számítása (becslése) a mélyebben települő rétegek felépítésének megismeréséből adódó hiányosságok miatt bizonytalan, többnyire az indokoltnál nagyobb az alkalmazott biztonsági tényező is, ami a földmunka mennyiségének növekedését eredményezi.



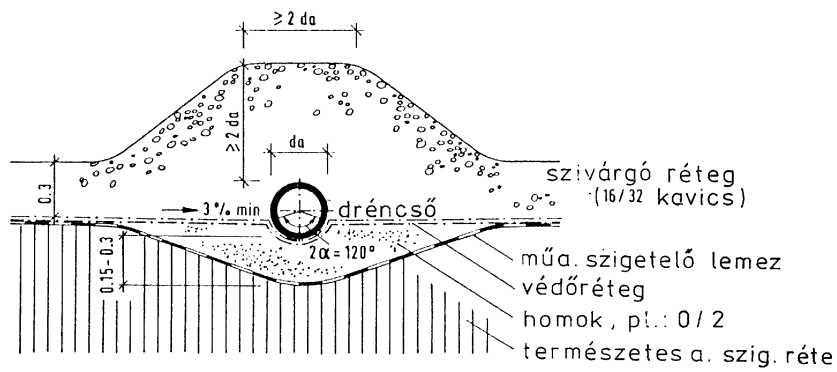
6.58. ábra

A csurgalékvízgyűjtő rendszer felépítése  
(RAMKE, 1991.)

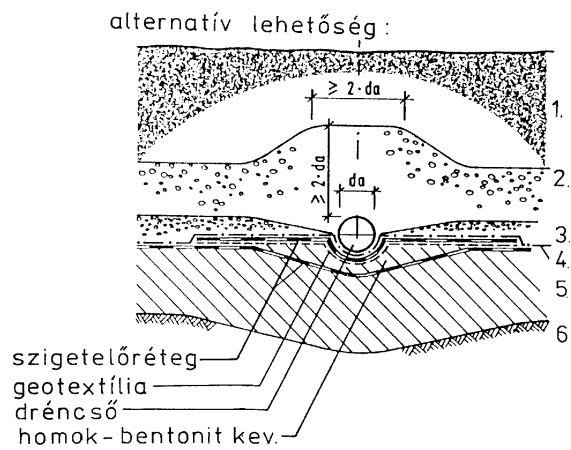
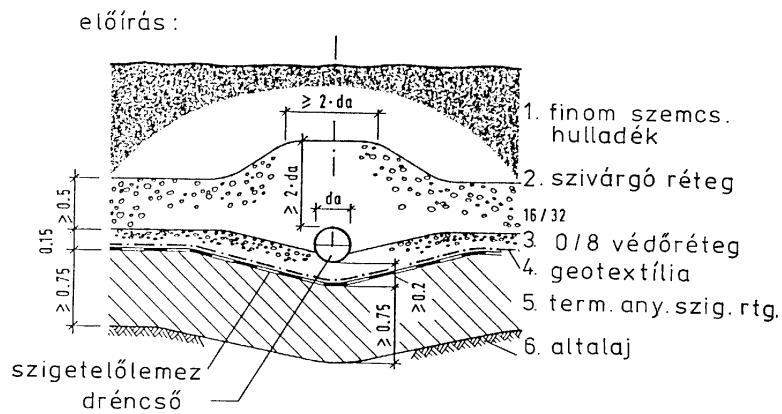


6.59. ábra

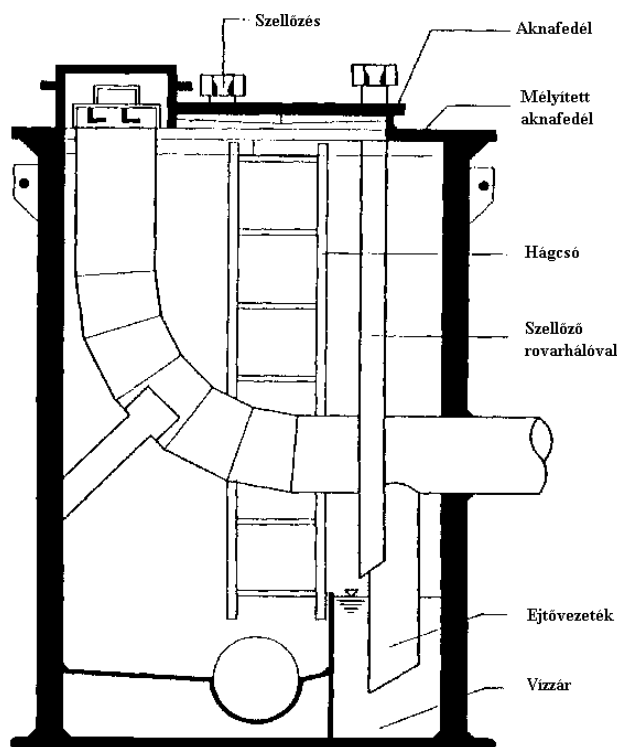
Csurgalékvízgyűjtő rendszer: a peremi rész metszete  
(RAMKE, 1991.)



**6.60. ábra**  
A dréncső beépítése  
(DIN 19667, 1990.)



**6.61. ábra**  
A dréncső beépítése  
(LAGA, 1990.)



6.62. ábra

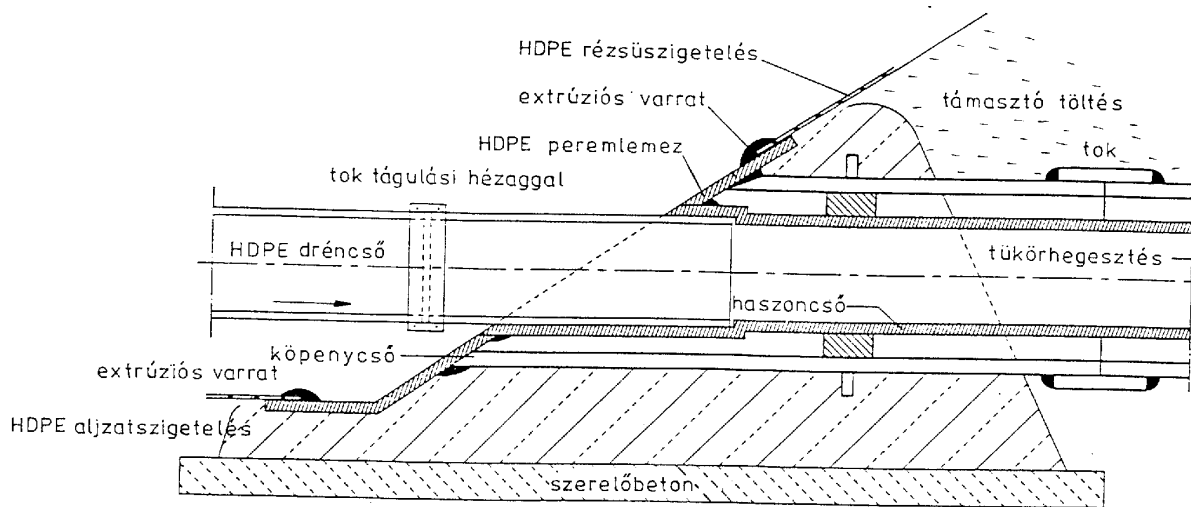
A HT-CARBOFOL szigetelőrendszer előregyártott csurgalékvízgyűjtő aknája

A dréncsövek depóniatérből való *kivezetésének a szigetelése* különösen kényes pont és hibalehetőség. Egy lehetséges megoldást szemléltet a **6.63. ábra**. Az átvezetés egy *polietilén/beton átvezető műtárgy* segítségével történik. Az előregyártott beton idomhoz a HDPE *peremlemez* és a már nem perforált *haszoncső* előre elkészítetten hozzá van erősítve, s ehhez csatlakoztatják a *dréncsövet*. Az aljzat és rézsűszigetelés lemezét extrúziós hegesztéssel csatlakoztatják a peremlemezre, így biztosítva a rendszer vízzáróságát.

A medenceszerűen kialakított-, vagy szigetelt, egykori bányagödrök feltöltésével kialakított lerakóknál a csurgalékvízgyűjtő akna értelemszerűen a belső térbe kerül. Előnye a rendszernek a kevesebb földmunka, valamint az, hogy az aljzat süllyedése kevésbé befolyásolja a dréncső esését, mert az akna a süllyedések után továbbra is a mélyponton marad. Hátránya a költségesebb kialakítás, mivel a rendszerre jelentős statikai-, kémiai- és hő terhelés hat, s mindegyikkel szemben ellenállónak kell lennie. A **6.64. ábra** a ZÜBLIN és a GFA cég közös kialakítású aknáját mutatja be. Az akna HDPE lemezzel szigetelt vasbeton gyűrűkből épül, így mind statikailag, mind kémiailag ellenálló. Az alapozása helyben készült vasbeton lemez. Az aknához mind a dréncsövet, mind a szigetelőlemezt vízzáróan hozzá kell hegeszteni.

A csurgalékvízgyűjtő aknából *a szennyezett víz a gyűjtővezetéken a központi gyűjtőmedencébe* kerül. Innen tisztítás után kerülhet a befogadóba. Egyszerűbb esetekben, vagy tisztítóberendezés hiányában szokásos és elfogadott megoldás az összegyűlt csurgalékvíz *visszapermetezése és elpárologtatása*. Hátránya ennek a megoldásnak, hogy nagyobb központi gyűjtőtárolót igényel, mert az év egy jelentős részében a megfelelő párolgás nem biztosítható, s ekkor a csurgalékvíz folyamatosan gyűjteni kell.

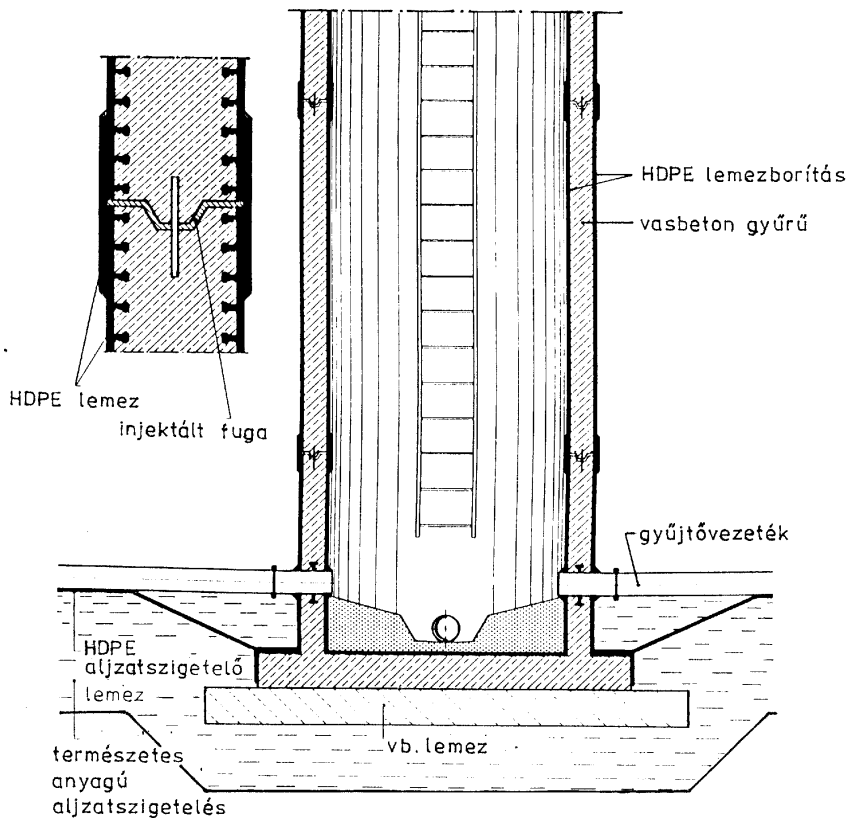




**6.63. ábra**

A dréncső kivezetésére szolgáló előregyártott polietilén/beton átvezető műtárgy

Az aknagyűrűk csatlakozása (részlet):



**6.64. ábra**

A ZÜBLIN és GFA cég által kialakított csurgalékvízgyűjtő akna

#### **6.2.2.1.4. A szigetelőrendszer felépítésének szabályozása**

Az előző fejezetekben megismerkedtünk az aljzatszigetelő rendszer elemeivel, és az egyes elemek anyagának megválasztásával és méretezésével. A szigetelőrendszer *felépítését, az egyes elemek egymásraépülését, a minimálisan megkívánt követelményeket* többnyire minden országban *előírásokkal szabályozzák*. Az előírásoknak ugyan országonként vannak eltérő sajátosságai, azonban az *alapelvekben nincs lényeges különbség*. Az is igaz, hogy nagyon nehéz az összehasonlítás, mert a hulladékok osztályozása, kategorizálása országonként nagyon eltérő lehet. A legjobb megoldás az, amikor az egymáshoz rendelés alapja a *lerakandó hulladék veszélyeztető potenciálja*, ami nem minden esetben egyezik meg a merev kategorizálás alapján meghatározott listával. A szigetelőrendszert - a mechanikai igénybevételen túl - elsősorban a *hulladékból kijutó csurgalékvíz terheli* (kémiai és biológiai terhelés). A *veszélyeztető potenciált a csurgalékvíz várható összetétele-, vagy ha ez nem ismert, akkor a lerakandó hulladékból kioldási vizsgálatokkal előállított kivonatok (eluátumok) analitikai és ökotoxikológiai vizsgálata* alapján meghatározott *eluátum osztály* alapján határozhatjuk meg. Valójában ez a legkorrektebb besorolás, mert a ténylegesen a szigetelőrendszerre jutó terhelést veszi figyelembe, s nem fordulhat elő olyan anomália, hogy pl. ugyanaz a mélyfűrési iszapmaradék, ha vízkutatási céllal használták nem veszélyes, míg ha szénhidrogénkutatási céllal használták, II. osztályú veszélyes hulladéknak minősül a mai hazai szabályozásban.

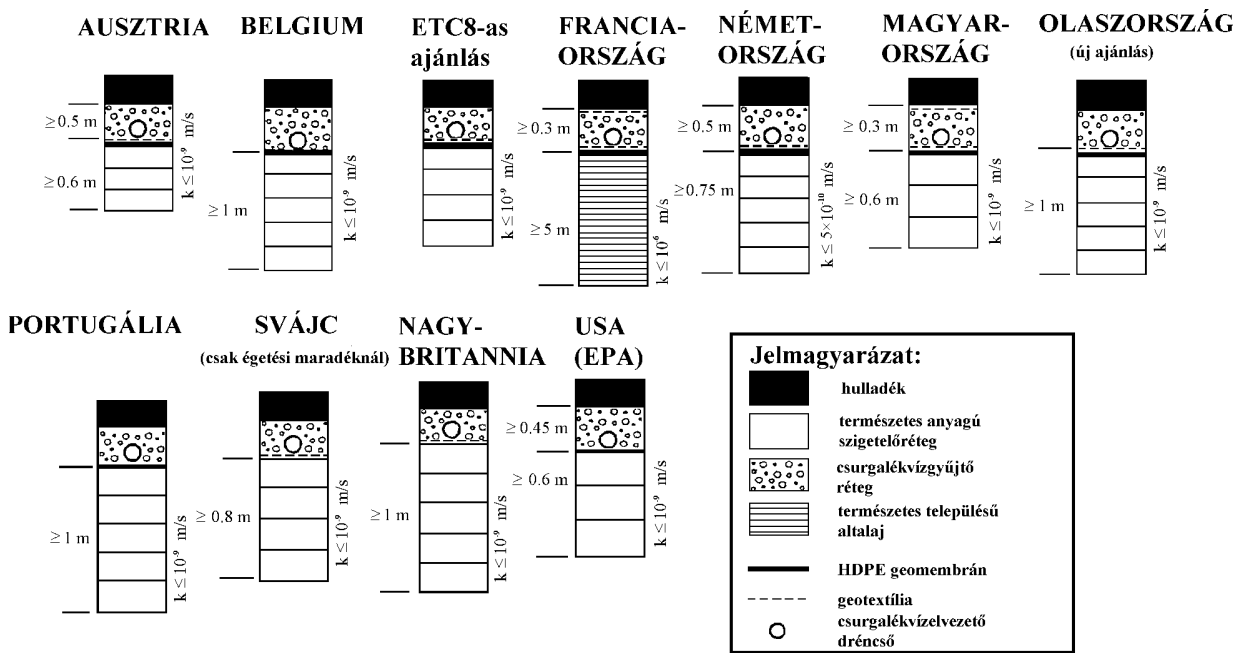
A kommunális hulladék-lerakók aljzatszigetelésének nemzetközi szabályozását mutatja be a **6.65. ábra**. Mint látható, a természetes és mesterséges védelem együttes alkalmazása kívánalom, s csak az igen kedvező földtani adottságok, vagy kezelt hulladék esetén van lehetőség pusztán természetes védelemre. Az is általánosan elfogadott, hogy a természetes anyagú épített szigetelőrendszernek *többrétegűnek kell lennie*, minimális követelmény általában a 3 réteg és a legalább 60 cm tömörítés utáni összvastagság. A szivárgási tényező megkívánt értéke:

$$k < 10^{-9} \div 5 \times 10^{-10} \text{ m/s.}$$

Kombinált szigetelőrendszer esetén az általajjal szemben támasztott követelmény viszonylag kicsi (általában  $k \leq 10^{-7} - 10^{-8}$  m/s), mert a hangsúly a műszaki védelem megoldásán van, s a túlságosan szigorú előírások számos, egyébként kedvező adottságú területet kizárnának a hulladékelhelyezésre való alkalmasság szempontjából.

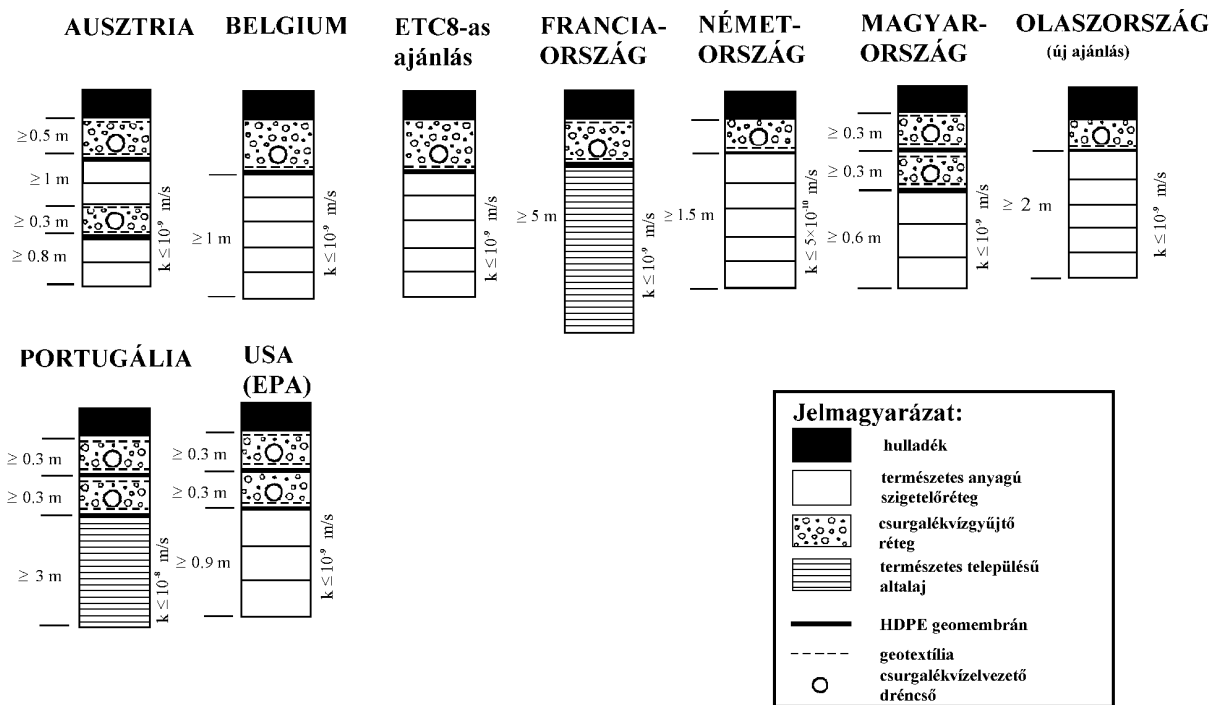
A *veszélyes hulladékok lerakásánál* alkalmazandó aljzatszigetelő rendszer felépítésére vonatkozó előírások, ajánlások nemzetközi áttekintését foglalja össze a **6.66. ábra**. Mint látható, általánosan elterjedt, hogy

- a rendszerben két geomembrán lemez kerül alkalmazásra;
- az egyik geomembrán közvetlenül a legalább 3 rétegű tömörített agyagra ( $k < 10^{-9}$  m/s) kerül (kombinált szigetelőréteg);
- az első és a második szigetelőréteg közé egy második szivárgó-ellenőrző réteget építenek be.



6.65. ábra

A kommunálshulladék-lerakók aljzatszigetelő rendszerének felépítésére vonatkozó előírások, ajánlások (MANASSERO et al., 1998.)



6.66. ábra

A veszélyeshulladék-lerakók aljzatszigetelő rendszerének felépítésére vonatkozó előírások, ajánlások (MANASSERO et al., 1998.)

Bizonyos esetekben megengednek egyszeres geomembrán védelmet is, de ekkor az alatta lévő tömörített agyarétegek számát és ezzel az összvastagságát növelik, mint ahogy pl. azt a német, belga, olasz előírás teszi.

A szigetelőréteg felépítésére vonatkozó hazai szabályozás e könyv megírásakor még nem került nyilvánosságra, bár a tervezetek már elkészültek (SZABÓ, 1994.), és néhány szakmai fórum előtt már megvitatásra is kerültek. A települési szilárd-hulladék lerakó építésének műszaki követelményei közvetve már nyilvánosságra kerültek az „1994. évi LXVII. – a helyi önkormányzatok címzett és céltámogatási rendszeréről szóló – törvényben (Környezetvédelmi és Építésügyi Értesítő, V. évf. 14. sz. 1994. november 30.). Sajnos az idézett közlemény és különösen annak a Környezetvédelmi Felügyelőségekhez eljuttatott műszaki irányelv változata számos értelemzavaró hibát és ellentmondást tartalmaz. A következőkben a műszaki irányelv-tervezet eredeti változata kerül rövid ismertetésre, remélve, hogy a végleges változat lényeges kérdésekben nem fog eltérni attól.

A hulladékelhelyezésre alkalmasnak ítélt területen az aljzatszigetelő rendszer felépítését a terület altalajának természeti adottságai és a lerakandó hulladék veszélyeztető potenciáljának együttes figyelembevételével kell meghatározni. A helykiválasztás eredményeként kapott területet a lerakó altalajának vastagsága és vízzárósága alapján területi osztályba kell sorolni (6.12. táblázat).

6.12. táblázat

| A lerakó altalajának területi osztályba sorolása |                                       |                                  |                        |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Az altalaj vastagsága<br>(m)                     | Az altalaj szivárgási tényezője (m/s) |                                  |                        |
|                                                  | $k > 10^{-6}$                         | $10^{-6} > k > 5 \times 10^{-8}$ | $5 \times 10^{-8} > k$ |
| 1,5-3,0                                          | T1                                    | T2                               | T3a                    |
| > 3,0                                            | T1                                    | T2                               | T3b                    |

T1; T2: A területi osztály jelölése

A lerakandó hulladék veszélyeztető potenciáljának a meghatározása történhet:

- előzetes vizsgálat nélkül, a 102/1996. (VII.12.) Korm. rendelet szerinti veszélyességi osztályba történő besorolás alapján;
- a hulladékok ill. hulladékkivonatok (eluátumok) ökotoxikológiai és analitikai vizsgálatára alapozva eluátum osztályokba történő besorolás alapján (6.13. táblázat).

A hulladékkivonatok készítésére az MSZ 21978/9-85 és az MSZ 21978/10-85 vonatkozik.

Az altalaj területi osztálya, és a hulladék veszélyességi-, ill. a hulladékkivonat eluátum osztálya alapján kell meghatározni a szükséges védelem mértékét, azaz *depónia építési osztályonként az aljzatszigetelő rendszer felépítésével szemben támasztott minimálisan megkívánt követelményeket*. A depónia építési osztály megválasztását a 6.14. táblázat tartalmazza. Az egyes depónia építési osztályoknál a *talp- és rézsűfelület* szigetelése felépítésének az előírásait a 6.67. ábra foglalja össze. Az 1. építési osztály az ábrán külön nem szerepel, mert itt külön előírás a szigetelőrendszerre nincs, ez a kategória ugyanis a gyakorlatilag ivóvíz minőségű csurgalékvizet adó "hulladékokra" vonatkozik.

6.13. táblázat

| <i>A hulladékkivonatok összetevőire megengedett határértékek eluátumosztályonként</i> |                |          |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------|----------|
| Paraméter                                                                             | Eluátumosztály |          |          |
|                                                                                       | E1             | E2       | E3       |
| pH                                                                                    | 5,5-10,0       | 5,5-12,0 | 5,5-13,0 |
| vezetőképesség (µS/cm)                                                                | 1000           | 3000     | (4)      |
| KOI (mg/l)                                                                            | 10             | 100      | (4)      |
| Policiklusos aromás szénhidrogének (PAH) (mg/l)                                       | 0,002          | 0,003    | 0,05     |
| Fenolok (fenolindex) (mg/l)                                                           | 0,005          | 0,10     | 20,0     |
| Szénhidrogének (összes) (mg/l)                                                        | 0,1            | 1,0      | 50,0     |
| Extrahálható szerves halogénvegyületek (EOX) (mg/l)                                   | 0,01           | 0,1      | 1,0      |
| Benzol, toluol, xilol (BTX) (mg/l)                                                    | 0,03           | -        | -        |
| ANA detergens (*) (mg/l)                                                              | 0,2            | 5,0      | 50       |
| Összes oldottanyag-tartalom (mg/l)                                                    |                |          | 10.000   |
| Toxicitás                                                                             | nem toxikus    | toxikus  | (4)      |
| Aluminium (mg/l)                                                                      | 0,20           | 1,0      | 10,0     |
| Antimon (mg/l)                                                                        | 0,05           | 0,1      | 2,0      |
| Arzén (mg/l)                                                                          | 0,05           | 0,1      | 1,0      |
| Bárium (mg/l)                                                                         | 0,50           | 1,0      | 10,0     |
| Berillium (mg/l)                                                                      | 0,004          | 0,005    | 0,05     |
| Bór (mg/l)                                                                            | 0,5            | 1,0      | 10,0     |
| Cink (mg/l)                                                                           | 1,0            | 5,0      | 10,0     |
| Ezüst (mg/l)                                                                          | 0,05           | 0,10     | 0,50     |
| Higany (mg/l)                                                                         | 0,001          | 0,005    | 0,05     |
| Kadmium (mg/l)                                                                        | 0,005          | 0,05     | 0,50     |
| Kalcium (mg/l)                                                                        | (1)            | (1)      | (2)      |
| Kobalt (mg/l)                                                                         | 0,05           | 0,50     | 5,0      |
| Króm (összes) (mg/l)                                                                  | 0,05           | 1,00     | 10,0     |
| Króm (VI) (mg/l)                                                                      | 0,01           | 0,10     | (3)      |
| Magnézium                                                                             | (1)            | (1)      | (2)      |
| Mangán (*) (mg/l)                                                                     | 0,10           | 2,0      | 20,0     |
| Nikkel (mg/l)                                                                         | 0,05           | 0,5      | 5,0      |
| Ón (mg/l)                                                                             | 0,05           | 0,5      | 10,0     |
| Ólom (mg/l)                                                                           | 0,05           | 0,2      | 10,0     |
| Réz (mg/l)                                                                            | 0,20           | 1,5      | 10,0     |
| Szelén (mg/l)                                                                         | 0,01           | 0,05     | 0,50     |
| Tallium (mg/l)                                                                        | 0,01           | 0,10     | 2,00     |
| Vanádium (mg/l)                                                                       | 0,05           | 0,20     | 2,00     |
| Vas (*) (mg/l)                                                                        | 1,00           | 15,0     | (2)      |
| Ammónium (*) (mg/l)                                                                   | 1,00           | 10,0     | 50,0     |
| Cianid (összes) (mg/l)                                                                | 0,05           | 0,50     | 10,0     |
| Cianid (könnyen illó) (mg/l)                                                          | 0,01           | 0,10     | 1,0      |
| Klorid (*) (mg/l)                                                                     | 250            | (1)      | (2)      |
| Fluorid (*) (mg/l)                                                                    | 1,5            | 5,0      | 50,0     |
| Foszfát (P) (*) (mg/l)                                                                | 1,0            | 10,0     | (2)      |
| Nitrát (*) (mg/l)                                                                     | 40,0           | 80,0     | (2)      |
| Nitrit (*) (mg/l)                                                                     | 1,0            | 1,0      | (2)      |
| Szulfát (*) (mg/l)                                                                    | 250,0          | 400,0    | (2)      |

**Megjegyzések:**

- (1) A vezetőképesség határértéke szabályozza
- (2) Az összes oldott anyagtartalom révén szabályozott
- (3) Az összes króm révén szabályozott
- (4) A 3. eluátumosztály megítélésénél nem döntő

**Jelölések:**

- E1; E2; E3: Az 1-2-3. eluátumosztály jelölése  
E4: 4. eluátumosztály. Ide sorolandók be azon hulladékok, amelyeknél az MSZ 21978/9-85 és az MSZ 21978/10-85 szerint készített kivonatok elemzése során a vizsgált paraméterek közül - a \*-al jelzetten túl - több mint három az E3 osztály határértéket meghaladja.  
A (\*)-al jelölt paramétereknél egy eluátumosztályon belül maximum 3 esetben a megadott határérték legfeljebb 50%-os túllépése megengedett.

6.14. táblázat

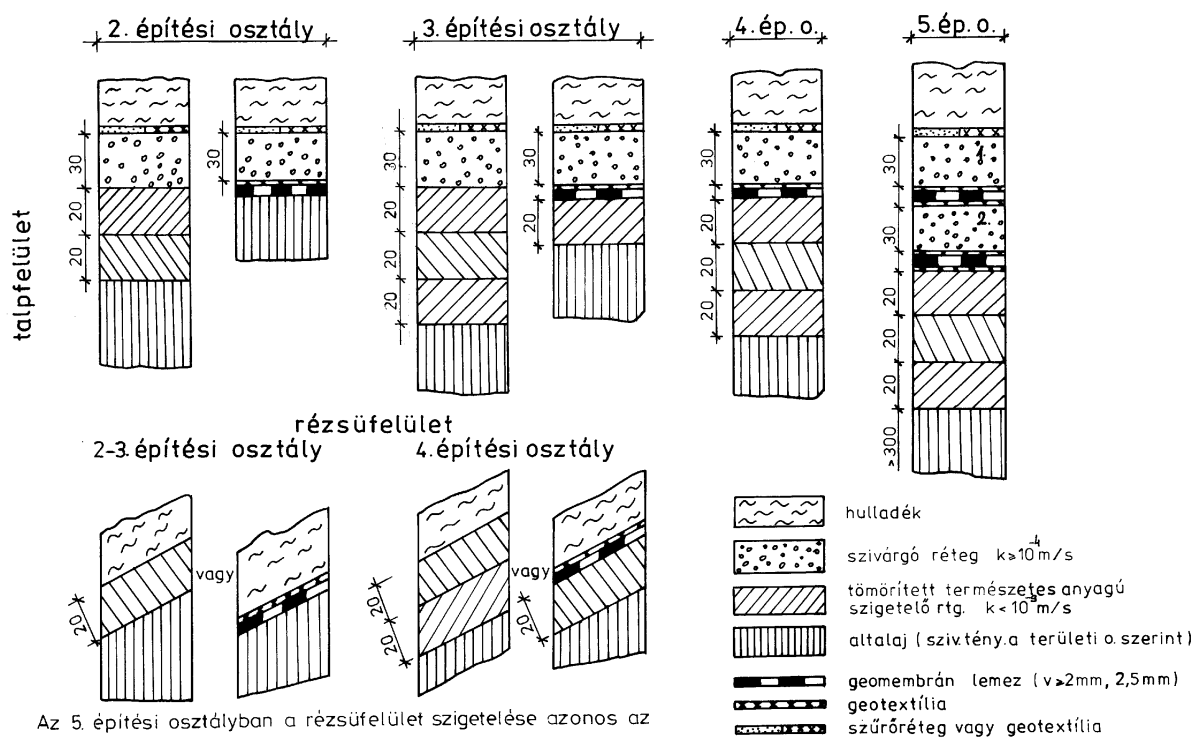
| A depónia építési osztályok az altalaj területi osztályának és a hulladék minőségének a függvényében |                            |     |     |           |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----|-----|-----------|----------------|
| Az altalaj területi osztálya                                                                         | A depónia építési osztálya |     |     |           |                |
|                                                                                                      | Ép1                        | Ép2 | Ép3 | Ép4       | Ép5            |
| T1                                                                                                   | E1                         | E2  | E2  | E3        | E3             |
| T2                                                                                                   | E1                         | E2  | E2  | E3; K     | E3             |
| T3a                                                                                                  | E1                         | E2  | E3  | E3; K     | E4; V3         |
| T3b                                                                                                  | E1                         | E3  | E3  | E3; K, V3 | E4; V3; V2; V1 |

E1-E4: a hulladékkivonat eluátumosztálya az 6.13. táblázat szerint

K: kommunális hulladék

V1-V3: a 102/1996 (VII.12.) Korm. rendelet 2. sz. melléklete alapján I-III. veszélyességi osztályba sorolt hulladékok.

T1-T3: Az altalaj területi osztálya a 6.12. táblázat szerint.



Az 5. építési osztályban a rézsüfelület szigetelése azonos az aljzatszigeteléssel

6.67. ábra

Javaslat a hulladéklerakók aljzatszigetelő rendszere felépítésének hazai szabályozására

A *kommunális hulladékok* a 4. építési osztálynak megfelelő szigetelőréteggel rendelkező lerakóba kerülhetnek, azaz 3x20 cm tömörített agyagréteg ( $k < 10^{-9}$  m/s), és egy legalább 2 mm vastag geomembrán lemezből felépített kombinált szigetelőrendszer, plusz csurgalékvízgyűjtő rendszer kialakítása szükséges.

A jelenlegi gyakorlat a feni javaslatnál annyiban tér el, hogy nem használja az eluátum osztály szerinti (veszélyeztető potenciál szerinti) besorolást és az *építési osztályokat az altalaj adottságok alapján* határozza meg. Összesen három építési osztály (1-2-3) van, amelyek megegyeznek a 6.67. ábrán feltüntetett 2-3-4 építési osztállyal. Miután mindhárom építési osztálynak megfelelő depóniába lerakható kommunális hulladék, elvileg előfordulhat, hogy az műszaki védelem nélküli lerakóba kerülne, ami a mai nemzetközi gyakorlatnak ellentmond. Szerencsére a környezetvédelmi felügyelőségek engedélyezési gyakorlatára ennek a nem kívánatos megoldásnak az engedélyezése nem jellemző.

A *veszélyes hulladékokra* vonatkozó 102/1996. (VII. 12.) Korm. rendelet 10. számú melléklete szabályozza ezen hulladékok lerakással történő ártalmatlanításának műszaki követelményeit. Az I és II. veszélyességi osztályba sorolt hulladékoknál a rendelet a 6.67. ábrán 5. építési osztályként jelölt aljzatszigetelő rendszert írja elő, s mint látható, *kettős geomembrán szigetelőlemezt* plusz 3x20 cm vastag, *épített természetes anyagú szigetelőréteg* ( $k < 10^{-9}$  m/s), megépítését kívánja meg. A felső geomembrán lemez alatti szivárgóréteg egyben ellenőrzési célt is szolgál. Az előírás szerint a szigetelő műanyaglemez típusának a kiválasztásakor figyelembe kell venni a hulladékkal való fizikai-, kémiai és biológiai kölcsönhatásokkal szembeni ellenállóképességet (kompatibilitási vizsgálat). A műanyaglemez szükséges vastagságát a mechanikai igénybevétel alapján kell meghatározni. A minimális vastagság 2,5 mm lehet.

A III. veszélyességi osztályú hulladékoknál, valamint *monodepónia* létesítésénél megengedi a 4. építési osztály szerinti kialakítást, azonban minimális geomembrán vastagságként 2,5 mm-t ír elő.

### 6.2.3. A hulladéklerakók lezárása

A hulladéklerakónál elérve a végleges magasságot, gondoskodni kell a lezárásáról, amelynek feladata és rendeltetése a következő:

- az infiltráció megakadályozása, ill. a minimálisra csökkentése;
- növeli a biztonságot az aljzatszigetelőrendszer esetleges meghibásodása esetén;
- biztosítható a gázemisszió teljes kontrollja;
- megakadályozza a depónián lefutó csapadékvizek érintkezését a hulladékkal, s ezáltal a környezet felszíni, felszín alatti szennyeződését;
- megakadályozza a szennyeződés szél általi továbbszállítását;
- megakadályozza a hulladék (különösen a veszélyes hulladék) közvetlen kapcsolatát az állatokkal és az emberekkel;
- csökkenti a depónia felületén az eróziót, elősegíti a rekultivációt.

A hulladék tulajdonságaitól, veszélyességi osztályától és toxicitásától függően megkülönböztünk:

- üzem közbeni lefedést,
- időszakos takarást és

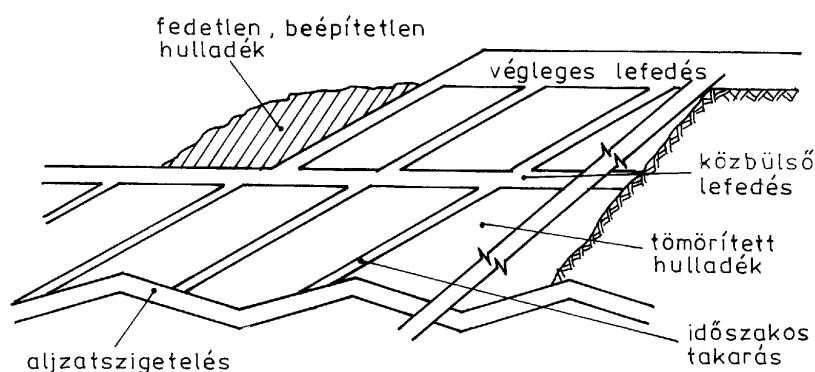
- végleges lezárást.

Az *üzem közbeni lefedésre* elsősorban a veszélyes hulladékoknál van szükség, ott is elsősorban akkor, ha a bejutó csapadékvíz hatására keletkező csurgalékvíz képződés megakadályozható, vagy jelentősen csökkenthető. (Ebből következik, hogy főként szilárd halmazállapotú, veszélyes hulladékoknál van rá leginkább szükség, s nincs értelme pl. egy veszélyesnek minősülő, de folyékony vagy iszapszerű hulladéktároló üzem közbeni lefedésére, mert itt egyébként is jelentős mennyiségű csurgalékvíz képződik, s itt elsősorban a szigetelőrendszer oldaláról tudunk védekezni).

A *végleges lezárás* mind a kommunális, mind a veszélyes hulladékoknál alapvető követelmény, de mint megoldás számításba jöhet korábbi, visszamaradt szennyeződések környezettől való elszigetelésének egyik elemeként is.

Az üzem közbeni lefedés és a végleges lezárás között egy közbenső megoldást jelent az *időszakos takarás*. Elsősorban a kommunális hulladék-lerakóknál jöhet számításba, amikor a hulladékot a lerakás és tömörítés után *cellánként fedőréteggel* látják el. A fedőréteg anyaga agyag, vagy iszapos agyag, vastagsága 20-50 cm (**6.68. ábra**). Lényegében ugyanazokat a funkciókat tölti be, mint a végleges takaróréteg, de itt természetesen nincsenek olyan szigorú minőségi követelmények. A gyakorlatban alkalmazott lejtés 3:1, amely még lehetővé teszi a tömörítőgépek mozgását.

Az időszakos takarás egyik speciális formája a *napi takarás*, aminek elsősorban a kiporzás, a könnyű anyagok kifújásának megakadályozása, a szagterhelés csökkentése és a tüzesetek megelőzése a feladata. Anyagánál nem feltétel a vízzáróság, sőt a vízzáró takaróréteg beépítése lokális gázfeldúsuláshoz, a gáz oldalirányú elvándorlásához vezetne, ami nem kívánatos. Napi takaróréteggé számításba jöhet építési törmelék, nem veszélyes ipari hulladék és kitermelt föld, stb.



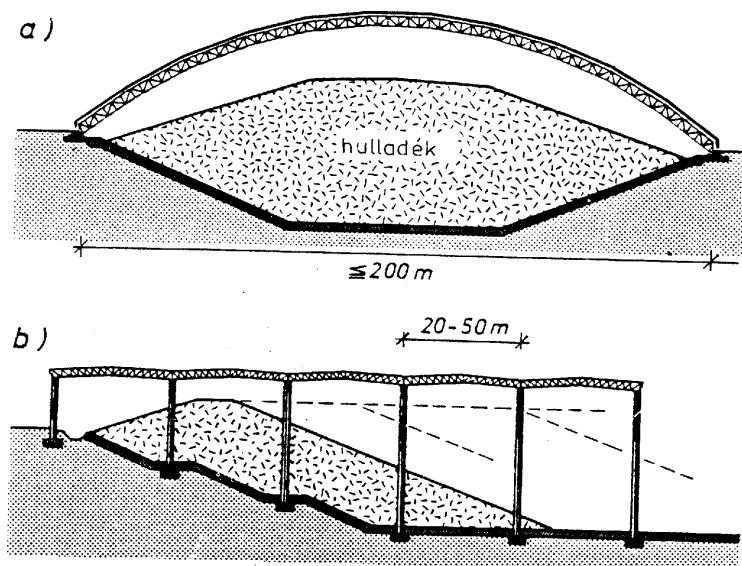
**6.68. ábra**

Hulladékdepóniák időszakos takarása

Az *üzem közbeni lefedésre* mutat példát a **6.69. ábra**. Ezek a szerkezeti megoldások valójában már átmenetet képeznek a tárolódepóniák felé. Igen költséges megoldást jelentenek, s a költségek a fesztáv növelésével ugrásszerűen nőnek. A tetőszerkezet mozgatható, csak a feltöltési fázisban fedi a hulladékot. Amikor az eléri a tervezett magasságát, egy végleges lezárást kap és megkezdődik a következő szakasz feltöltése az áthelyezett tetőszerkezet védelme mellett. Tartóelemként elsősorban acélszerkezetek jönnek számításba. A tetőszerkezet leggazdaságosabb



formája a depónia kialakítás geometriájától és a területi adottságoktól függ. A mai technikai színvonalat és lehetőségeket figyelembe véve alátámasztás nélküli ívtartók mintegy 200 m fesztávolságig lehetségesek (6.69.a ábra). Az oszlopokra támaszkodó tetőszerkezet hátránya (6.69.b ábra), hogy a depónia építéssel az oszlopok bennmaradnak. Ma már ismert olyan megoldás, hogy az építés során az oszlopokat aknagyűrűkkel körülvéve az oszlopok visszanyerhetők, a bentmaradó akna pedig ellenőrző szerepet tölthet be, vagy gázmentesítő kútként is üzemelhet.



6.69. ábra

Veszélyeshulladék-lerakók üzem közbeni lefedése:

a. nagy fesztávú ívtartókkal kialakított tetőszerkezet

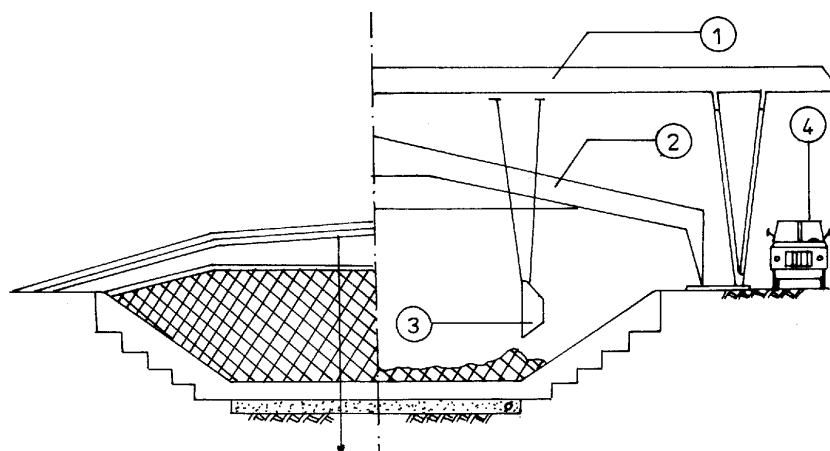
b. oszlopokra támaszkodó tetőszerkezet

(BRANDL, 1989.)

Magyarországon mindmáig az egyetlen rendezett, biztonságos veszélyeshulladék-lerakótelep az aszódi, ahol I. és II. veszélyességi osztályba tartozó hulladékok kerülnek elhelyezésre. A II. v.o. hulladékot az elhelyezés közben a végleges lezárás előtt ideiglenes, mozgatható tetővel védik (6.70. ábra). A hulladék beszállítása acél konténerben történik, majd az anyag ömlesztve a rézsüs kiképzésű, földmedrű tárolókba kerül. Az anyagi tulajdonságtól függően külön-külön medencébe kerülnek az egymással összeférhetetlen hulladékok. Egy-egy medence nagysága 43x26 m, rézsűhajlás 1:1,5, medencemélység 4,0 m. Az aljzat és zárószigetelés adatait a 6.70. ábrán találjuk.

A depóniák végleges lezárására túlnyomórészt természetes- és mesterséges anyagú (elsősorban az aljzatszigetelőknél is megismert műanyag fóliák) szigetelőrétegek jönnek számításba. A 6.71. ábra a fedőrendszer felépítésének néhány lehetséges változatát szemlélteti, feltüntetve az ajánlott méreteket és paramétereket. Az a., és b., ábrán látható rendszer elsősorban kommunális hulladékok vagy a környezetre kevésbé veszélyes hulladékok lefedésére, míg a c., és d., változat főleg a veszélyes hulladékok környezettől való elszigetelésére alkalmas. A szigetelőréteg vagy rendszer fölötti szemcsés anyagú réteg a víztelenítést szolgálja, s megakadályozza a talajon átjutó csurgalékvíznek a depóniába való bejutását. A 6.71.c ábrán látható kombinált szigetelőrendszer a mai ismereteink szerinti leghatékonyabb megoldást jelenti.

Az egyes rétegek közé kerülő *geotextília* szerepe kettős: egyrészt megakadályozza a szivárgóréteg(ek) (szivárgópaplan) eltömődését, másrészt növeli a rendszer stabilitását.

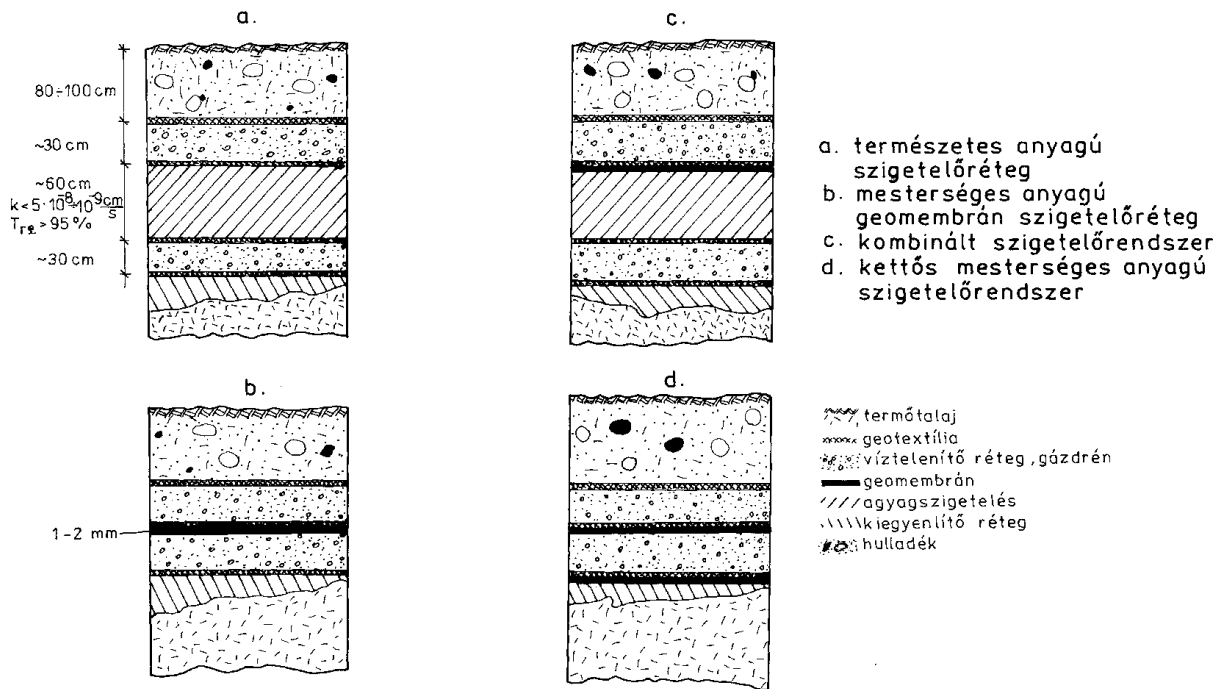


|                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 30 cm humusz füvesítés                                                                   |
| 20 cm homokos kavicszivárgó                                                              |
| C2-K CARBOFOL lemez (d=2,5mm)                                                            |
| Változó vastagságú agyagfeltöltés                                                        |
| Tömörített agyag (Trp=95%; $k < 10^{-9}$ m/s)                                            |
| Veszélyes hulladék (5,4-5,5m)                                                            |
| CHD CARBOFOL lemez (d=2.5mm)                                                             |
| Tömörített agyag<br>(az altalajtól függően 70-100 cm vastag, Trp=95%; $k < 10^{-9}$ m/s) |
| 30 cm homokos kavics ellenőrző fenékszivárgó                                             |
| Altalaj ( $k = 10^{-8} - 10^{-9}$ m/s)                                                   |

1. bakdaru
2. mozgatható védőtető
3. konténer
4. konténerszállító tgc.

### 6.70. ábra

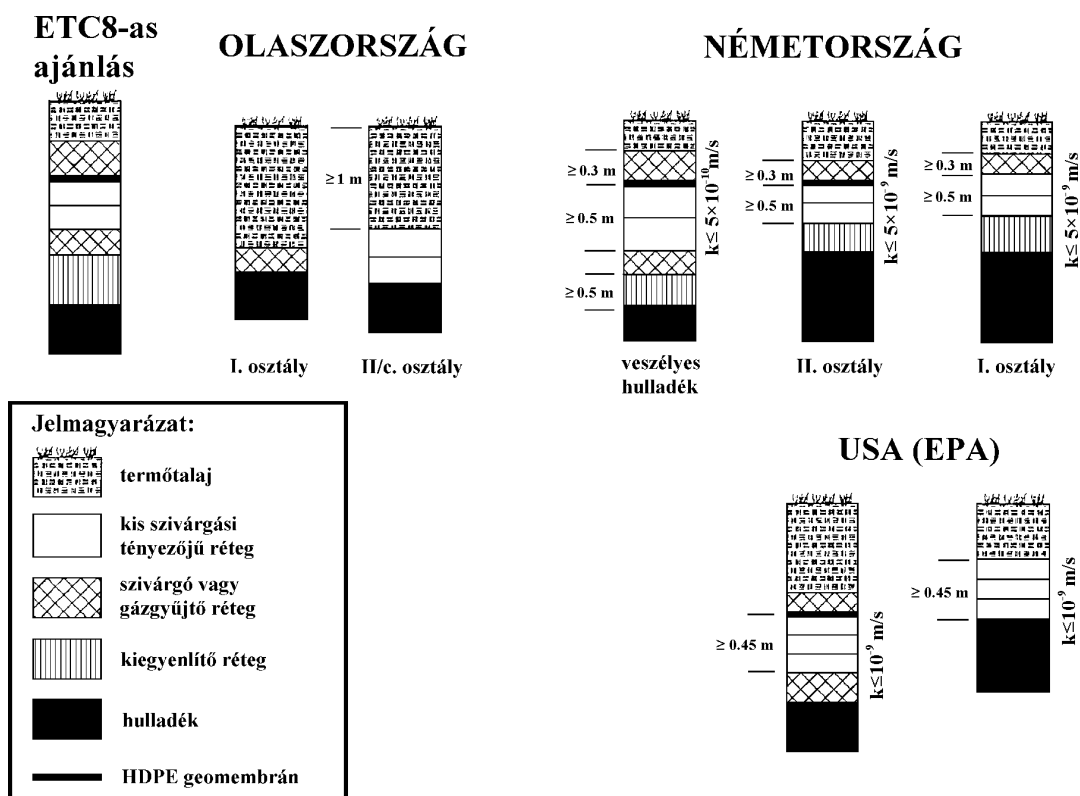
II. veszélyességi osztályba tartozó hulladékok lerakása az aszódi telepen  
(HÓDI et al., 1987.)



6.71. ábra

Hulladékdepóniák végleges lezárásának lehetőségei

A különböző típusú hulladékok lerakójának lezárására vonatkozó nemzetközi előírásokat és ajánlásokat a 6.72. ábra foglalja össze.



6.72. ábra

A lerakók zárószigetelő rendszerére vonatkozó nemzetközi előírások, ajánlások (MANASSERO et al., 1998.)

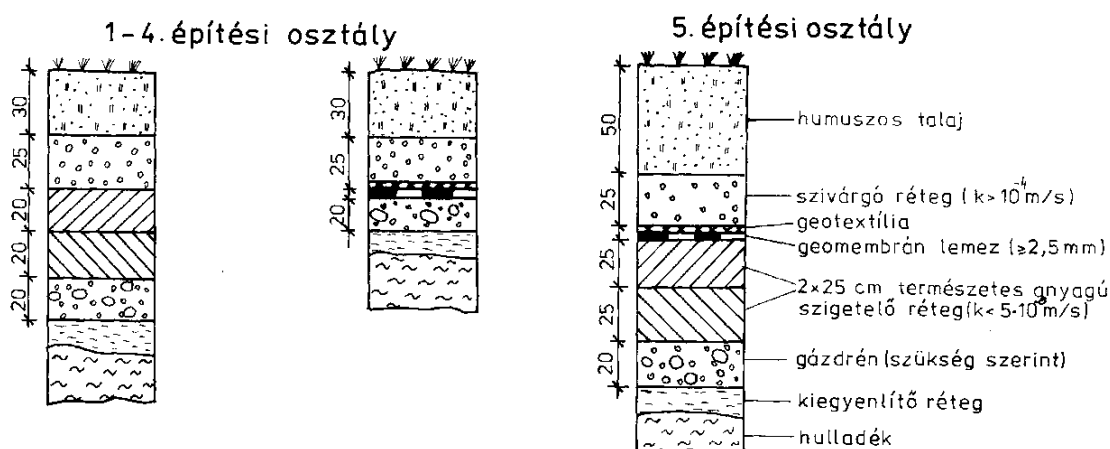
A lerakók végleges lezárásának hazai szabályozására az aljzatszigetelő rendszernél a 6.2.2.1.4. fejezeten említettek úgyszintén elmondhatók. Az elkészült műszaki irányelv tervezet (1-4 építési osztály) és a 102/1996. (VII. 12.) Korm. Rendelet (veszélyes hulladékok, 5. építési osztály) előírásait a 6.73. ábra foglalja össze.

Az 1-4 építési osztályban a felső lezáró szigetelés azonos:

- 30 cm vastag humuszos talaj, füvesítéssel,
- 25 cm vastag homokos kavics szivárgóréteg,
- geotextília,
- 2x20 cm tömörített természetes anyagú szigetelés ( $k < 10^{-9}$  m/s), vagy 1 réteg 2 mm névleges vastagságú szigetelőfólia,
- gázdrén (szükség szerint),
- kiegyenlítő réteg a lezárás felületének kialakításához.

Az 5. építési osztály esetén az előző rendszer kiegészül egy, a kétrétegű természetes anyagú szigetelésre kerülő, legalább 2,5 mm névleges vastagságú geomembrán lemezzel, és a humuszos talaj vastagsága is nagyobb.

A lezárás után a *felület esésének legalább 3-5%-nak* kell lennie, hogy a beszivárgó csapadékvíz kivezetése minél hatékonyabb legyen (MEGGYES, 1994.). A humuszos fedőtalan szivárgási tényezője ne legyen kisebb mint  $10^{-6}$  -  $10^{-7}$  m/s, a megfelelő vízháztartás biztosítása érdekében. A szivárgóréteg anyaga hasonló mint a csurgalékvízgyűjtő rendszernél, általában 16/32 mosott kavics. A természetes anyagú szigetelőréteg elsősorban a csapadékvízzel találkozik, így a kiválasztásnál nem követelmény a nagy abszorpciós kapacitás. Ugyanakkor lényeges, hogy a beépítésre kerülő anyag *zsugorodásra* kevésbé legyen hajlamos, mert a kiszáradáskor kialakuló repedések révén vízzáróságát elveszítheti. Kedvezőtlenül befolyásolja a fedőréteg vízzáróságát a talajfagy is, a *fagylehatolási mélységet* a szigetelőrétegre kerülő fedőréteg vastagságnál kell figyelembe venni.



6.73. ábra

Hulladéklerakók felső lezárási szigetelésére vonatkozó hazai előírás-tervezet

A lezáró rendszer méretezésére érvényesek mindazok a megállapítások, amelyeket az aljzat-, ill. az oldalfalszigetelések méretezésére tettünk. Ezek:

- a földmunkára, beépítésre, tömörítésre vonatkozó előírások figyelembe vétele;
- a rendszer kellő biztonsággal rendelkezzen a *megcsúszással szemben* (lásd a. 6.2.5.1. fejezetben);
- a geomembrán és a geotextília megfelelő szilárdsági jellemzőkkel rendelkezzen a *mechanikai igénybevételekkel szemben*;
- ellenálló legyen a kémiai terhelésből adódó igénybevételekkel szemben (csurgalékvíz, depóniagáz, gázkondenzátumok);
- ellenálló legyen a biológiai terhelésből adódó igénybevételekkel szemben (növényi gyökérszövet, rágcsálók, mikrobiológiai átalakulási folyamatok).

A méretezésnél speciális problémaként jelentkezik a hulladék tömörödésének hatására bekövetkező *felszínsüllyedés*. A bekövetkező süllyedéseket előre becsülni igen nehéz, mivel számos tényezőtől függ, így:

- a hulladék anyagától, a lerakásának módjától, tömörségétől,
- a depónia típusától,

- a depónia kialakításától, stb.

A hulladék konszolidációjával bővebben foglalkozik a 7.1. fejezet.

A hulladéklerakók lezárásánál is felerősödtek azok a törekvések, amelyek a hagyományos zárószigetelések helyett egy azzal egyenértékű, vagy hatékonyabb új anyagok vagy rétegrendek alkalmazhatóságát vizsgálják.

Mai ismereteink szerint két területen nagy valószínűséggel jelentős fejlődés ill. előrelépés várható, ezek:

- a) a geoszintetikus anyagok alkalmazhatósága
- b) a kapilláris zárószigetelések jobb megismerése

A **geoszintetikus anyagoknak** (geomembrán, geotextília, geonet, georács, geokompozit lemezek, geoszintetikus szigetelőlemezek) a legfőbb előnyük:

- gyárilag garantált minőség;
- gyors beépíthetőség;
- kisebb gép és élőmunka igény;
- kedvező fizikai-mechanikai tulajdonságok;
- kedvező kombinációs lehetőségek;
- egyszerűbb minőségbiztosítási vizsgálatok;
- könnyebb javíthatóság.

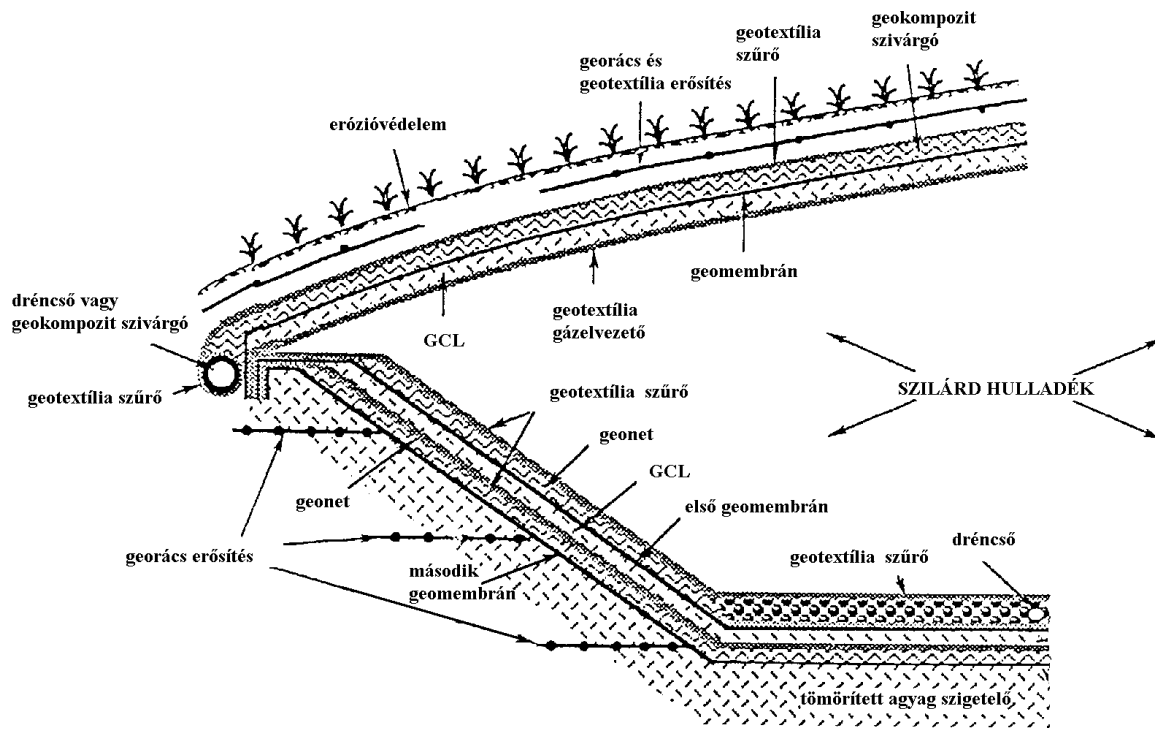
Hátrányuk ugyanakkor, hogy ma még nem rendelkezünk kellő ismeretanyaggal az öregedési folyamatukról, valamint bizonyos feltételek mellett az egyenértékűségükről.

Tekintettel arra, hogy a zárószigeteléseknél a kedvező fizikai-mechanikai tulajdonságokat és igen jó vízzáróságukat hasznosítjuk, igen kedvezően alkalmazhatók az alábbi területeken:

- depóniák felszínének erózió elleni védelmére;
- az állékonyság biztosítására;
- szivárgó rétegeként;
- szigetelő rétegeként.

A geoszintetikus anyagok széleskörű alkalmazási lehetőségét szemlélteti a **6.74. ábra**, amelyen láthatjuk, hogy nemcsak a zárószigeteléseknél, de az aljzatszigetelő rendszer elemeiként való alkalmazás területén is jelentős fejlődés várható.

A **kapilláris zárószigetelések** többrétegű szigetelőrendszerek, amelynek minden esetben eleme egy ún. *kapilláris réteg*, amely további két rétegből áll, felül egy *finom-középfinom szemcséjű homokréteg* (általában 0,4-0,6 m vastag) alatta pedig egy *durvább szemcséjű* (0,2-0,3 m vastag durva homok, finomszemcséjű kavics).



6.74. ábra

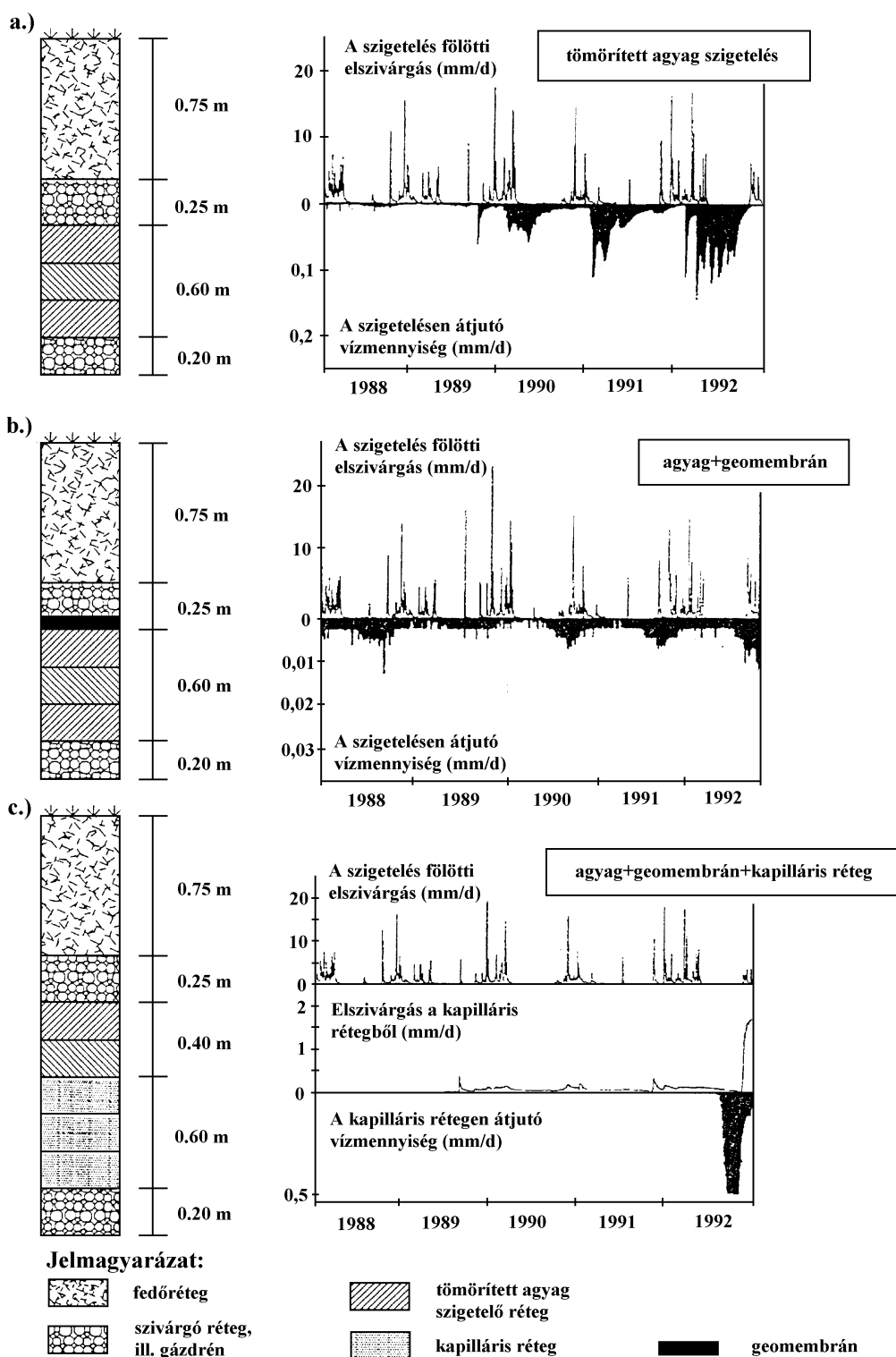
A geoszintetikus anyagok széleskörű alkalmazási lehetőségei a depónia építésnél (DANIEL-BOWDERS, 1998.)

A kapillaris réteg fölé a megkívánt szigetelőképeségtől függően a már megismert (l. 6.71. ill. 6.72. ábrákon) rétegrend (szigetelőréteg(ek) - szivárgó - rekultivációs réteg - talaj) valamelyike kerül.

Mind az elméleti megfontolások, mind a rendelkezésre álló egyre nagyobb számú helyszíni és laboratóriumi mérési tapasztalatok azt mutatják, hogy a kapillaris réteg beépítésével lényegesen csökkenthető a szigetelőrétegen egyébként átjutó csapadékvíz mennyisége, valamint kedvezően gátolja a depóniagáz kijutását is. A fentieket nagyon jól szemlélteti a 6.75. ábra, amely a hamburgi lerakón (Georgswerde) végzett helyszíni méréseket szemlélteti. Az átlagos csapadék 830 mm, az evapotranszspiráció 64%, a beszivárgás értéke 34% volt. Mint látható:

- a tömörített agygrétegen a csapadékvíz átjutása mintegy 2 év után bekövetkezett és a húzási repedések kialakulásával egyre intenzívebbé vált;
- a kombinált szigetelőrendszeren az átszivárgás végig kicsi, de folyamatos volt;
- a kapillaris szigetelőrendszeren mintegy 4 évig gyakorlatilag nem volt átszivárgás.

Számos kutató számolt be hasonlóan kedvező eredményekről (KHIRE, 1994.; JESSBERGER, 1995.; SHACKELFORD, 1996.), azonban ma még számos kérdés nyitott, de mint egy kedvező lehetőséggel érdemes a jövőben számolni vele, különösen száraz, félszáraz éghajlaton épülő lerakóknál.



**6.75. ábra**  
A különböző zárószigetelő rendszereken átszivárgó vízmennyiség (MELCHIOR et al., 1993.)



### 6.2.4. Gázmentesítés

Amennyiben a lerakott hulladék sok szerves anyagot tartalmaz és megvannak a lebomlás feltételei is, akkor a hulladék mennyiségétől, minőségétől, a lerakás módjától, technológiájától, a rendelkezésre álló oxigéntől, stb. függően esetenként jelentős mennyiségű gáz képződhet. (A gázképződés folyamatával a 7.2. fejezet foglalkozik).

Egy jól működő hulladéklerakónál alapvető feltétel, hogy a gázképződés és gázmentesítés *ellenőrzött körülmények* között történjék annak érdekében, hogy megelőzzük a depóniagáz nemkívánatos kijutását az atmoszférába, illetve horizontális vagy vertikális irányú migráció révén a környező talajrétegekbe.

Ebben a fejezetben az ellenőrzött gázmentesítés módszereit, lehetőségeit tekintjük át, de nem foglalkozunk a kitermelt, összegyűjtött gáz hasznosításával.

A keletkező gáz ellenőrzött gyűjtése illetve elvezetése fontos, mert:

- a nagy nyomású gáz kitoréásokat okozhat a lerakóban;
- a gáz kiszivárgása a vegetáció pusztulását idézheti elő, aminek a következménye, hogy a rekultivált felszínen jelentősen nő az erózió veszélye;
- toxikus hatása lehet;
- a tartós gázkibocsátás a hulladéklerakó közvetlen szomszédságában lakók egészségét veszélyeztetheti;
- kellemetlen szaghatást okoz;
- a keletkező metán a levegővel keveredve robbanókeveréket alkot;
- a keletkezett gáz olcsó energiaforrás, ezért gyűjtése célszerű.

#### ***A gáz mozgása***

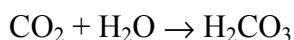
Normális körülmények között a keletkező gáz molekuláris diffúzióval kerül a légtérbe. A hulladékban és a talajban való mozgása rendkívül bonyolult. Aktív lerakó esetében a hulladékban levő nyomás általában nagyobb mint a légnyomás, így a nyomáskülönbség következtében fellépő kiáramlás is nagy szerepet játszik.

#### ***A gáz mozgását befolyásoló tényezők:***

- az időjárás; ha a barometrikus nyomás esik, a gáz a lerakóból a talajba migrál;
- a nedves felszín, fagyott borítás nem engedi a légkörbe szökni a gázt, ezért az a talajba áramlik.
- a hulladék gázmegkötő képessége; a gáz kötődhet szilárd és folyadék állapotú részekhez is;
- a fedőréteg áteresztőképessége; a gáz a kis áteresztőképességű takaróréteg alatti üregekben gyűlik össze, ahol koncentrálnálódhat, elérheti a robbanási határértéket is. A növekvő nyomás hatására a gáz követve a geológiai képződmények és a munkaárkok vonalát, behatolhat építményekbe, lakóházakba, s migrációval több 100 m-es távolságra is eljuthat (RASCHKE, 1987.).

A két legnagyobb arányban előforduló gáz a *metán és a szén-dioxid mozgása eltérő*. Az előbb említett folyamatok inkább a metánra jellemzőek. A két gáz eltérő viselkedésének fizikai paramétereik különbözősége az oka. A CO<sub>2</sub> sűrűsége másfélszerese a levegőének, 2,8-szorosa a

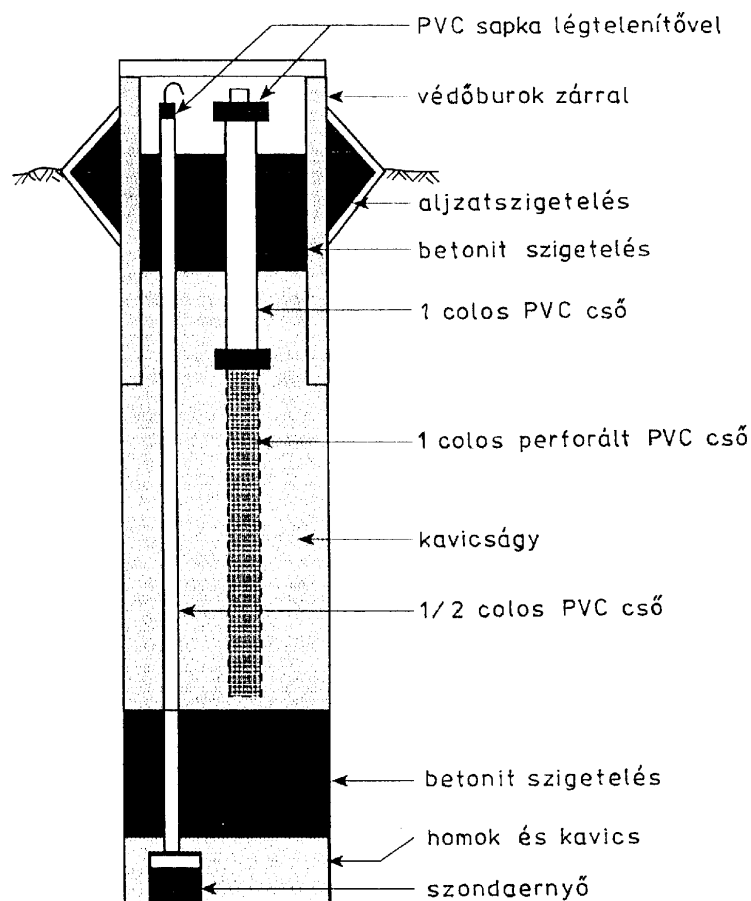
metánénak, ezért az eltávozása, eltávolítása sem olyan egyszerű. Összegyűlik a hulladéklerakó alján; ezért a mélyebb hulladék rétegekben a szén-dioxid koncentrációja nagyobb. A lerakó aljából még lejjebb migrálva elérheti a talajvizet, azzal kölcsönhatásba kerülve



folyamat szerint szénsav keletkezik, ami csökkenti a talajvíz pH értékét. A pH csökkenése a talajvíz keménységét és oldott anyag tartalmát növeli.

### *A gáz ellenőrzése és vizsgálata*

A gázmozgás vizsgálata a helyi talajok és a környező területek földtani viszonyainak kutatásával kezdődik. Ha a hulladéklerakó körül kavics, homok rétegek találhatók, ellenőrző műtárgyakat kell beépíteni a környezetébe is. Ha agyagrétegek találhatók a lerakó környékén, az ellenőrzőrendszer kiépítése elhagyható. Megelőzendő, hogy a lezárás következtében a képződő gáz oldalirányba eltávozzon, a lezáró rendszerbe egy gázdrén réteg beépítése szükséges, amint azt a **6.72.-6.73. ábrákon** látjuk. A depónia köré telepítendő ellenőrző rendszer kialakításával és az ellenőrzések gyakoriságával a 9.2.3. fejezet foglalkozik.



**6.76. ábra**

Működő hulladéklerakóban a képződő gáz megfigyelésére szolgáló kút  
(O'LEARY - WALSH, 1991.)

Ha a gázvezető és ellenőrző rendszer egy már üzemelő lerakónál utólag kerül megépítésre, úgy előzetesen gázkutató, megfigyelő kutakat érdemes elhelyezni, amelyek a gáz elhelyezkedését és mozgását figyelik. A **6.76. ábrán** egy ilyen gázmegfigyelő kutat láthatunk. A kutak mélysége a lerakó mélységének legalább másfélszerese legyen, de ne érje el a talajvizet. A kútba egy alul perforált csövet kell elhelyezni, a talaj és a perforált rész közötti gyűrűs teret kavicsal vagy homokkal kell kitölteni. A perforáció felett legyen egy bentonitos palástszigetelés a gáz levegőbe kerülésének, ill. a levegőnek a mintába való szivárgásának megakadályozására. Többszintes kutakat is lehet alkalmazni a jobb térbeli megfigyelés érdekében.

A gázmegfigyelő kutakban a nyomást és a metán koncentrációját kell mérni. A nyomásgradiens okozta migrációt így becsülni lehet. Mivel a nyomás és a metánkoncentráció is gyorsan változik, a méréseket gyakran - lehetőleg naponta - el kell végezni.

Ezen mérések alapján lehet megtervezni a gázvezető-gázellenőrző rendszert. Az elvezetendő és hasznosítandó gáz alatt legtöbbször a metánt értjük.

### **Gázellenőrző és mentesítő rendszerek**

A gázellenőrző és mentesítő rendszer lehet *aktív vagy passzív*. Passzív rendszerben a lerakóban levő természetes gáznyomás a mozgás hajtóereje. Aktív rendszerben mesterséges vákuum segíti elő a gázkiáramlást a lerakóból. A passzív módszer csak akkor használható hatékonyan, ha metán és szén-dioxid is nagy mennyiségben képződik. A nyomáskülönbség és a diffúzió a metánt a lerakóból a légtérbe irányítja. A passzív rendszer vázlata látható a **6.77. ábrán**.

Legkisebb mértékben a homokkal vagy kavicsal teli függőleges aknák, árkok vagy rétegek szállítják a metánt. Ennél hatékonyabb módszer a függőleges, vagy a fedőréteg alá elhelyezett perforált csövek alkalmazása. A lerakót körülvevő talajba helyezett szigetelő fólia lassíthatja a metánáramlást, elhelyezése azonban nem könnyű feladat. A kis koncentrációjú, veszélyesebb gázok levegőbe kerülését közbetelepített szorpciós rétegekkel lehet megoldani, ill. csökkenteni.

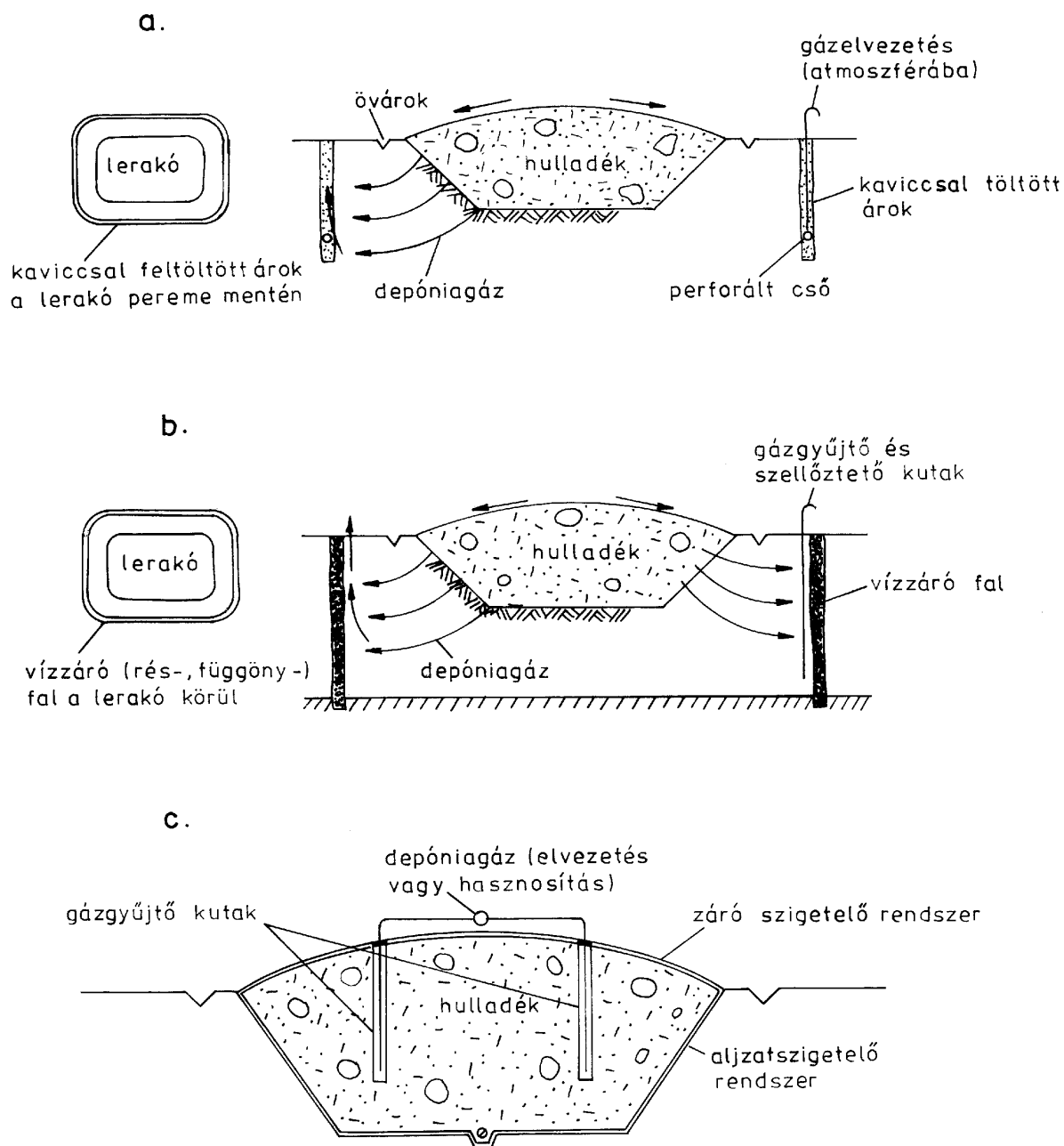
Mivel a passzív rendszer csak korlátozott védelmet nyújt, a gáz a levegőbe kerül, és a gázmozgás szinte előre megjósolhatatlan, alkalmazása kevésbé ajánlott, és egyre inkább a háttérbe is szorul.

Hatékonyabb módszer az *aktív rendszer*, még akkor is, ha a keletkezett gáz mennyisége kicsi, és a gáz mozgásában csak a molekuláris diffúzió vesz részt. A szellőztető csövekhez vákuumszivattyút csatlakoztatva olyan nyomáskülönbség érhető el, amely képes eltávolítani a gázt a lerakó belsejéből. Az aktív rendszer vázlata a **6.78. ábrán** látható.

Ha a telepítés célja csak a gázellenőrzés, akkor a lerakó pereméhez kell elhelyezni a kutakat, illetve a környező talajban, ha az jó áteresztő.

Az egyes kutak átmérője 30-90 cm legyen. A nagyobb átmérőjű kutak esetében ugyanannyi energiával több gáz nyerhető, ami akkor célszerű, ha a gázt energiaforrásként is gyűjtik. Az aktív rendszer a lerakó peremén és a lerakóban hálózatosan elhelyezett csövekből áll. A csövek lehetnek függőleges vagy vízszintes elhelyezésűek. Az egyes kutakat és csöveket egy fővezeték köti össze, amelynek a végén egy kompresszor van. Ezzel a kompresszorral hozzák létre a fővezetékben a vákuumot. Amikor a vákuum létrejön, kialakul egy hatásterület, amely a kutakkal behálózott területre terjed ki. A gáz így belekerül a kutakba, onnan a fővezetékbe, az ellenőrző

állomásra, majd az energiafelhasználó, vagy égető berendezésekbe. A területen lévő kutakban összegyűlő gáz gyakran rosszabb minőségű, ezért ilyen esetben célszerű ezt külön kezelni.



6.77. ábra

A passzív gáz ellenőrző-mentesítő rendszer vázlata

**a.** kavicssal töltött gyűjtőárok és perforált cső,

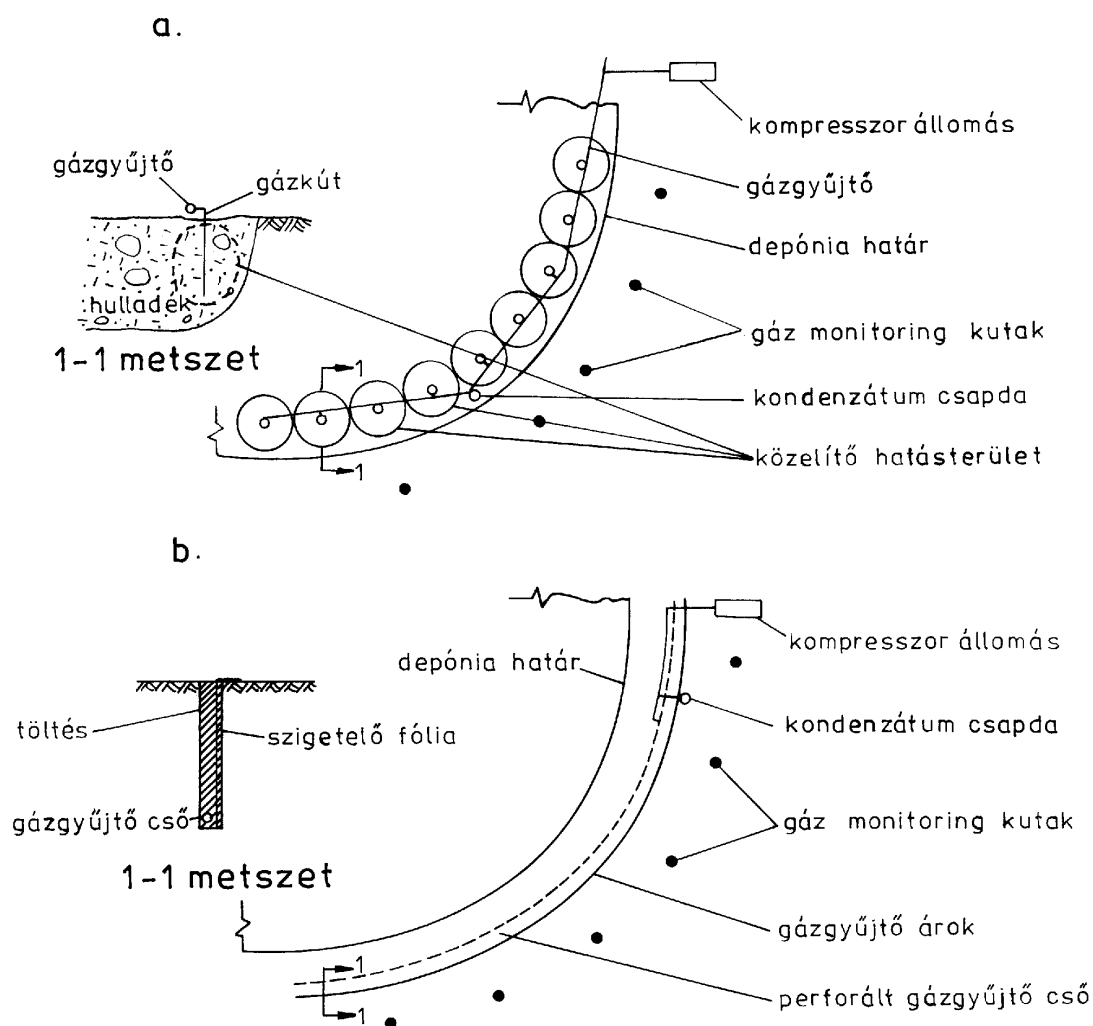
**b.** a lerakó kerülete mentén kialakított védőárok,

**c.** gázgyűjtő kutak

Megjegyzés: az a. és b. változat aljazatszigetelő nélküli;

a c. változat szigetelt aljzattal rendelkező lerakóknál

(TCHOBANOGLOUS et al., 1993.)



6.78. ábra

Aktív gázgyűjtő ellenőrző rendszer (kialakítási vázlatok)

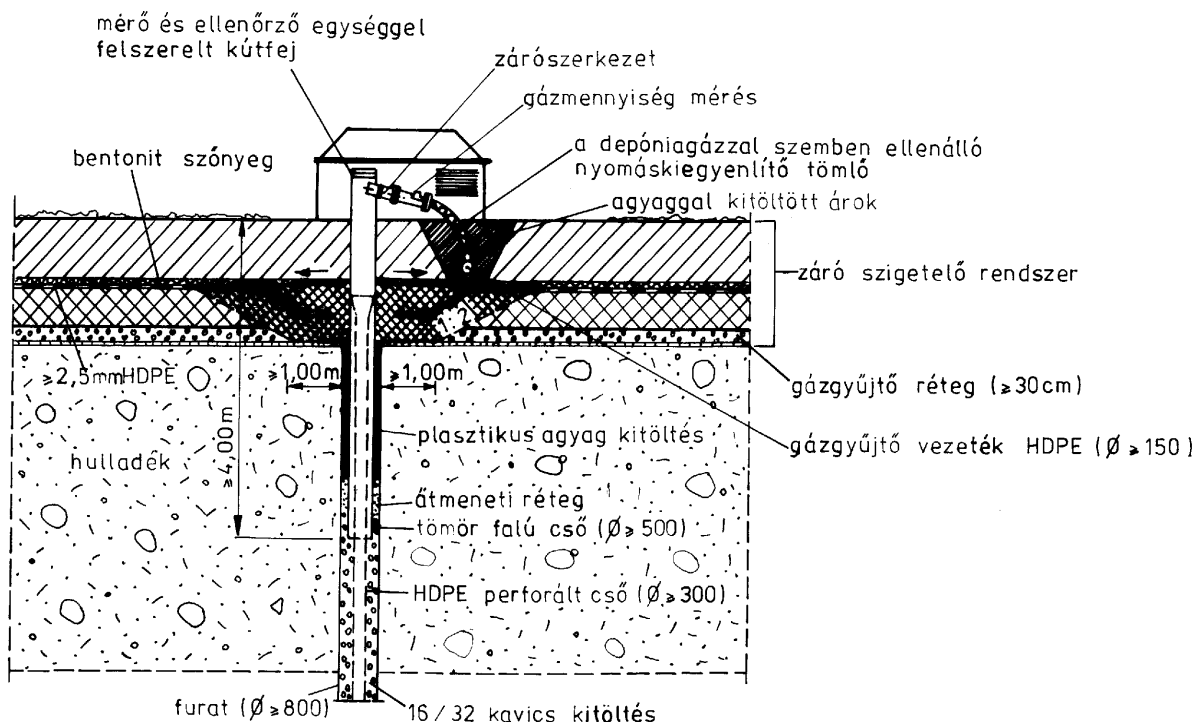
*a.* gázgyűjtő kutak, *b.* gázgyűjtő árkok

(TCHOBANOGLOUS et al., 1993.)

A **6.79. ábra** az aktív rendszer felépítéséhez javasolt kút kialakítását mutatja be (JESSBERGER, 1994.). Az aljzatszigetelő rendszer sérülésének az elkerülése érdekében a fúrás legfeljebb 2 m-re közelítheti meg az aljzatszigetelő rendszert. A kútba helyezendő perforált HDPE műanyag cső átmérője >300 mm, és úgy kell beépíteni, hogy húzóigénybevétel a csősúly miatt ne lépjen fel.

A furat alját 2 m magassáig kavicssal kell feltölteni, erre kell a műanyag perforált csövet helyezni. A műanyag csövek toldása hegesztéssel történik. A gyűrűs tér kavicsfeltöltése 16/32 mm szemcsenagyságú anyaggal történik, amelynek CaCO<sub>3</sub> tartalma ne legyen több mint 10%.

A depónia zárószigetelése hatékonyságának megőrzése érdekében a perforált csövet egy, legalább 4 méterrel a depónia felszín alá nyúló nem perforált cső védelme mellett kell kivezetni és a gyűrűs teret a tömítettség fenntartása érdekében plasztikus, vízzáró agyaggal kell kitölteni. A kút felső része átvezetésénél a záró szigetelőrendszert a **6.79. ábra** szerint kell kialakítani.

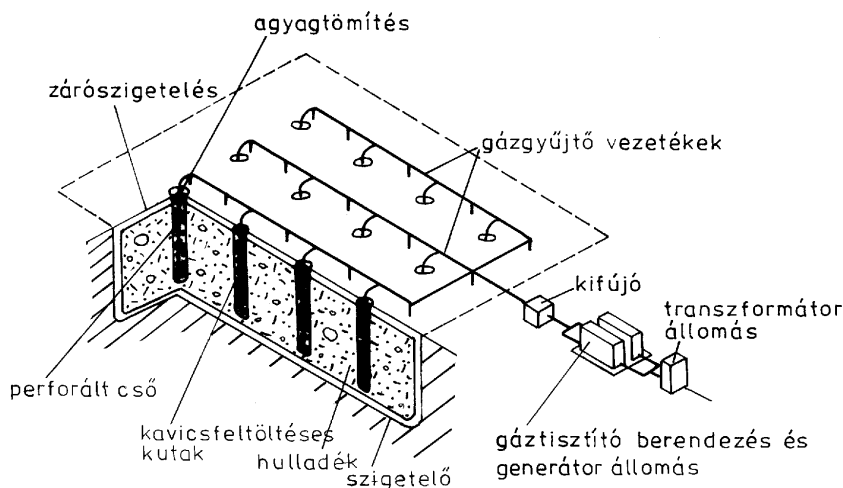


6.79. ábra

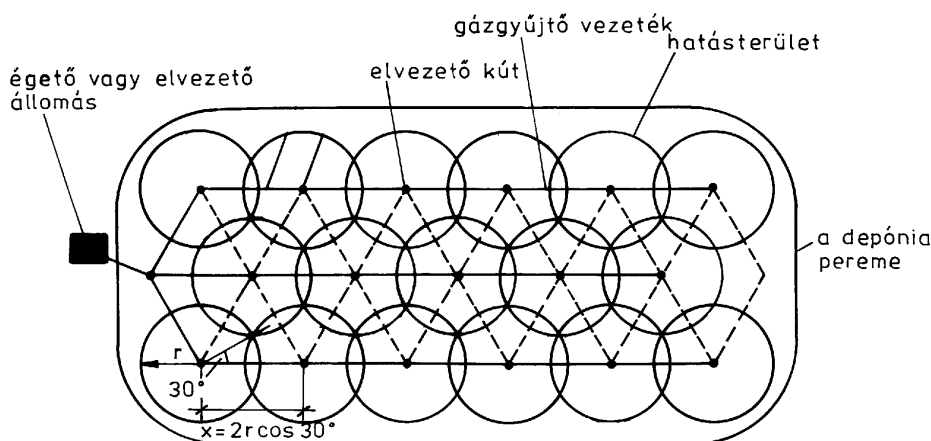
A gázgyűjtő kutak kialakítása és a zárószigetelésen való átvezetése  
(JESSBERGER, 1994)

Az így elhelyezett kutak hatásterülete - ugyanúgy mint a vízbeszerző kutaknál - minden irányban kiterjed. A kutakat úgy kell elhelyezni, hogy a hatásterületük összeérjen. A rendszer működtetésénél kerülni kell a túlnyomást, mert ezzel levegő kerülhet a talajból a hulladékba. A lerakó vastagságától és egyéb helyi adottságoktól függően a *kutak távolsága* 8-20 m (6.80. ábra). Az aktív rendszereknél *peremi gázvezető árkokat* is alkalmaznak. Ezt közvetlenül a lerakó körül alakítják ki kb. 8 m, vagy annál kisebb mélységgel. Az árkokat kavicsal töltik meg, ami szintén a fővezetékhez kapcsolódik. A fővezetékhez kapcsolódik egy szivattyúállomás (vagy kompresszor), ezzel vákuumot hoznak létre az árkokban, ami tovaterjed a hulladékba is, és a gáz a kisebb nyomású zónába, majd a perforált csőbe jut.

Többszintű *horizontális gázvezető rendszer* is alkalmazható. Ekkor a hulladékban horizontális vezetősű árkokat kell kialakítani, kavicsal részben feltölteni, majd elhelyezni egy mindkét végén nyitott perforált csövet. Az árkot kavicsal fel kell tölteni. A perforált cső egyik nyitott végéhez kapcsolódik a főgyűjtővezeték. Az árkok távolsága a helyi adottságoktól függ, és elhelyezkedésük lehet csillag, vagy legyező formájú, vagy egymással párhuzamos. Az árkok kialakításának a metszetét szemlélteti a 6.81.a ábra. A horizontális elrendezés következtében a csövek jelentős süllyedéskülönbségeknek vannak kitéve, s ezért a toldásoknál a csöveknek a későbbi elmozdulásokra való tekintettel szabadon elmozdulóknak kell lenniük (6.81.b. ábra).



vertikális irányú kutak



6.80. ábra

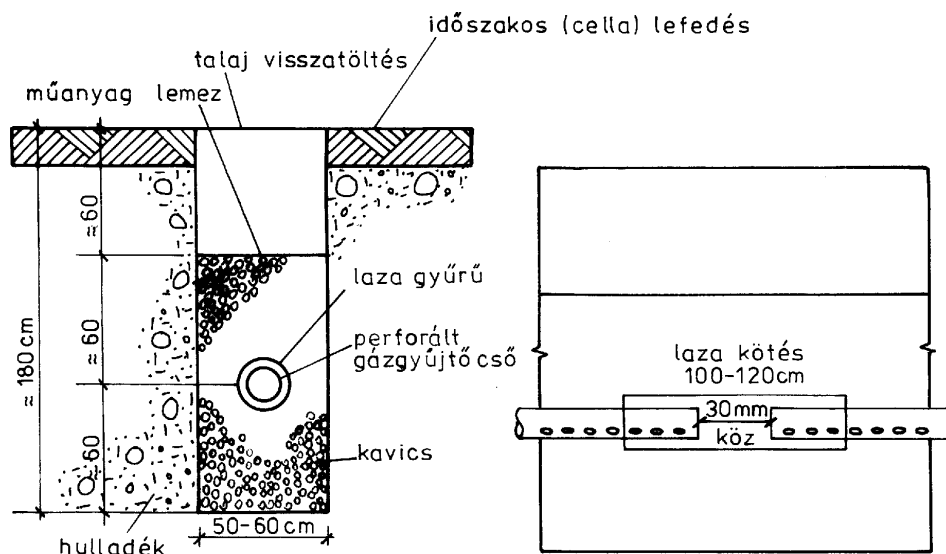
Aktív gázgyűjtő rendszer függőleges kutakkal

*a.* rendszer-vázlat*b.* kútelrendezés és hatásterület

(TCHOBANOGLIOUS et al., 1993.)

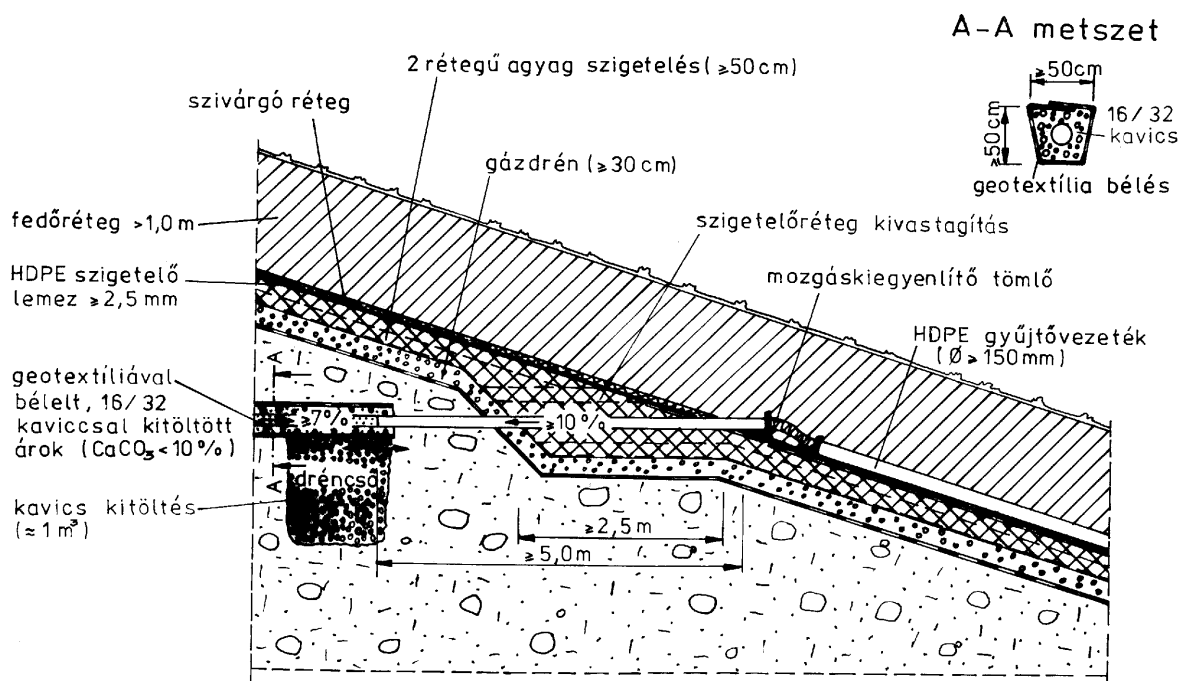
Ugyanúgy, mint a vertikális elrendezésű gyűjtőkutaknál, a lezáró szigetelőrétegen való átvezetés a rendszer legérzékenyebb pontja (6.82. ábra). Az áttörési szakaszon mind a dréncsövet, mind a tömörfalú átvezető csövet legalább 10% eséssel kell kialakítani, hogy a kicsapódó kondenzátum a csőből biztonságosan visszajusson a depóniatestbe. Az idegen (fals) levegő bejutásának a megakadályozása érdekében a nem perforált csőszakasznak legalább 5 m hosszúnak kell lennie, és a kivezetési szakaszon a szigetelőréteg vastagságát meg kell növelni. A perforált gyűjtőcső esésének meg kell egyeznie a hulladékfelszín esésével. Ahol a két cső esése előjelet vált, ott kell kialakítani a kb. 1 m × 1 m × 1 m méretű kavicsal kitöltött gödröt a kondenzátum tartás, biztonságos visszavezetésének a biztosítása érdekében.

A gáz elvezetéséhez ajánlott áramlási sebesség < 10 m/s, e fölött már turbulens mozgások is fellépnek, az alsó határ 5 m/s. Az ajánlott nyomás legalább 30 mbar.



6.81. ábra

A horizontális gázgyűjtő árok kialakítása (a) és a csövek csatlakoztatása (b) (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993.)



6.82. ábra

A horizontális gázgyűjtőcső átvezetése a zárószigetelésen (JESSBERGER, 1994.)



### **A gáz kezelése**

Az elvezetett gázt többféleképpen kezelhetik:

- kondenzálják; a kondenzátumot visszavezetik a hulladékra, vagy tárolják,
- a levegőbe vezetik - ha az ártalmatlan,
- előkészítés után a helyi gázvezetékbe juttatják,
- égetéssel, miután a szén-dioxidot leválasztották, elektromos energiává alakítják ,
- felhasználás nélkül elégetik.

Bár nem biztos, hogy mindig gazdaságos, környezetvédelmi szempontból mindenképpen kívánatos a gáz valamilyen módon való felhasználása.

#### **6.2.5. A depóniatest geotechnikai vizsgálata**

A depóniák tervezése, építése és üzeme során különböző típusú geotechnikai problémák merülhetnek fel, amelyek teljes áttekintése és részletes tárgyalása önmagában is egy könyv anyagát tenné ki. Ezért ezen fejezetben csak a speciális problémákra térünk ki, és a szakirodalomban általánosan ismert, elterjedt és elfogadott eljárásokra csak utalás történik.

A depóniatest geotechnikai vizsgálata közül a két legfontosabb:

- a depóniatest állékonyság-vizsgálata,
- a depóniaaljazat várható süllyedése.

##### **6.2.5.1. A depóniatest állékonyság-vizsgálata**

Hulladékdepóniáknál csúszások, mozgások következhetnek be:

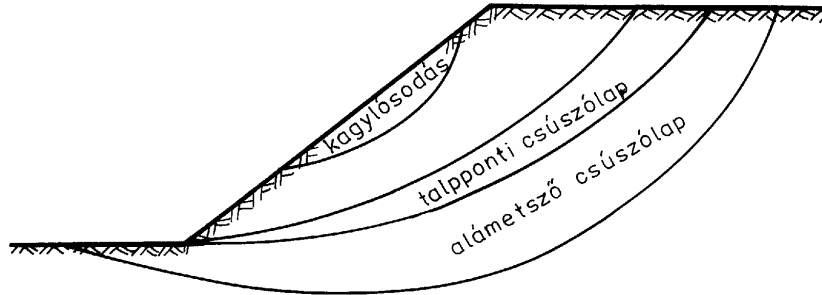
- a depóniagödör oldalfalainál,
- a lerakott hulladékban,
- a hulladék és az altalaj között,
- a hulladék és az aljzatszigetelés között, valamint

a szigetelőréteg (elsősorban geomembrán) és a fedőréteg (védőréteg) között.

A *depónia oldalfalainak* állékonyság-vizsgálata az előkészítő munka része. A probléma felmerül mind a *terület kiválasztása* (hulladéklerakó nem kerülhet feszínmozgásos területre), mind a *lerakóhely kialakítása során*. Az állékonyság-vizsgálatokat hasonló elvek szerint végezhetjük mind a felszínközélen kialakított *depóniagödörknél*, mind a *medencés* kialakítású lerakóknál, mind pedig a *völgyfeltöltéseknél*. A vizsgálatok történhetnek mind a jól ismert JÁKY-féle vektorpoligonális, mind a változatosabb földtani felépítés figyelembevételét lehetővé tevő BISHOP, JANBU, mind a határanalízis (CHEN 1975.) módszerrel. Ezen vizsgálatok során különböző tönkremeneteli felületek (csúszólapok) mentén vizsgáljuk a rézsű egyensúlyát, s meghatározzuk a *minimális biztonsági tényezőt*. A vizsgálat elvégzéséhez elsősorban az oldalfalat felépítő közetek nyírószilárdsági paramétereire ( $c$ ;  $\phi$ ) van szükségünk (**6.83. ábra**).

Az előzőhöz hasonló problémát jelentenek a *lerakott hulladékban* bekövetkező csúszások (ill. azok megakadályozásának) vizsgálata. Az ilyen típusú mozgások elsősorban a *dombépítéssel kialakított* és a *lejtőnek támaszkodó* depóniáknál léphetnek fel, de kialakulhat a *depóniagödörknél* is a feltöltés során, bár ez utóbbi nem jellemző. Az állékonyság-vizsgálatok

megegyeznek az oldalfal állékonyságnál elmondottakkal, azzal a különbséggel, hogy itt a méretezéshez a *hulladék fizikai jellemzőire* van szükség, amelyeknek a meghatározása már lényegesen nehezebb a hulladék inhomogén összetétele miatt, mint az oldalfalat felépítő kőzeteknél. Kivételt képeznek ez alól a monodeponiák, mint pl. a pernye. Eme vizsgálatok elvégzésénél jól hasznosíthatjuk a külfejtések hányóinak állékonyság-vizsgálataiból ismert tapasztalatokat (KÉZDI, 1976.).



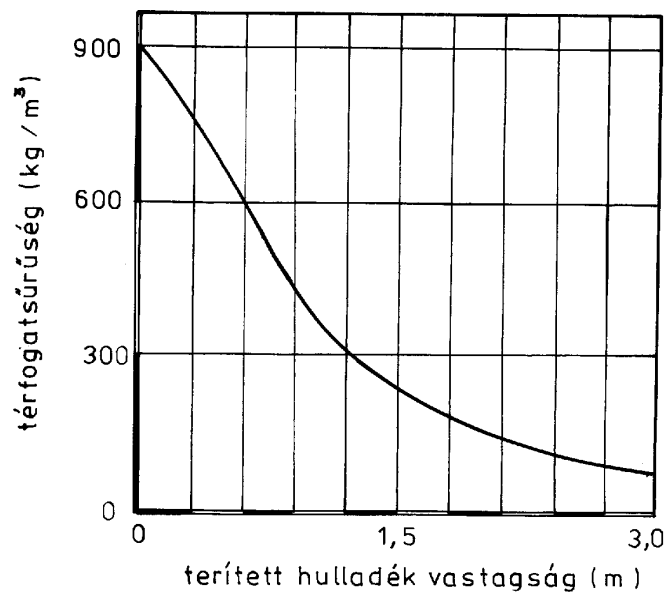
6.83. ábra

Hulladéklerakók oldalfalának állékonysági vizsgálata

Az állékonyság-vizsgálatokhoz ismernünk kell a lerakott hulladéknak az alábbi paramétereit:

- térfogatsűrűség,
- kohézió,
- belső súrlódási szög.

A **térfogatsűrűség** értéke igen tág határok között változik és függvénye a hulladék összetételének, nedvességtartalmának, a lebomlás fokának, a napi takarás vastagságának, a lerakás módjának, az alkalmazott tömörítő eszköznek, a depónia magasságának, az egyszerre lerakott hulladék terítési vastagságának, a hulladék korának, stb. A **6.84. ábra** az egyszerre leterített hulladékréteg vastagságának a függvényében szemlélteti az elért térfogatsűrűség értékét.

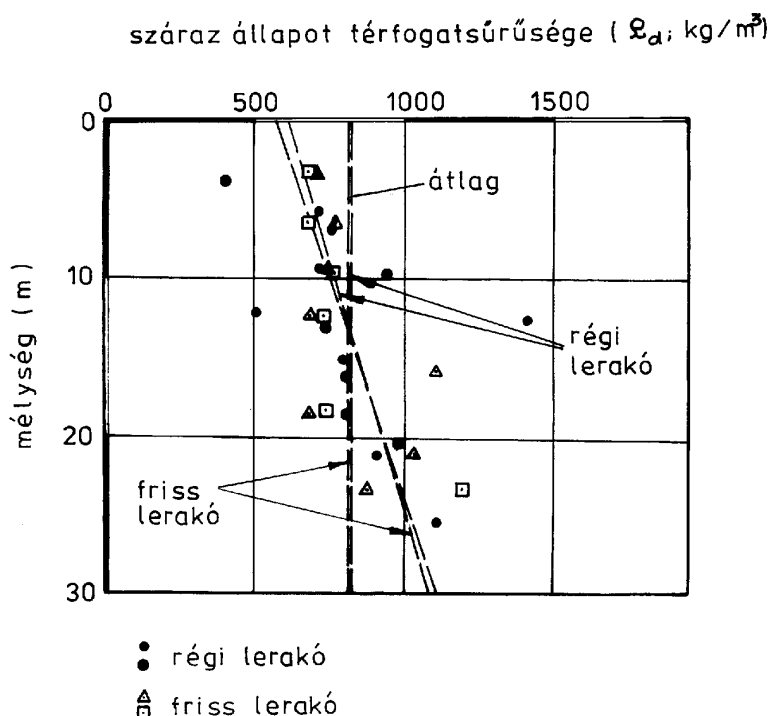


6.84. ábra

A tömörítéssel elért térfogatsűrűség alakulása az egyszerre leterített rétegvastagság függvényében

(TCHOBANOGLIOUS et al., 1977.)

Egy jól üzemelő lerakó esetében a terítési rétegvastagság kb. 0,5-0,7 m, így a tömörítés során átlagosan 500-600 kg/m<sup>3</sup>-es térfogatsűrűség érték érhető el. Nagyobb rétegvastagság esetén az elérhető tömörség értéke csökken. Nyers hulladék térfogatsűrűsége általában 150-350 kg/m<sup>3</sup> között változik, 1 MPa talpnyomásnál kisebb tömörítőgéppel 350-550 kg/m<sup>3</sup>-es értékkel számolhatunk. Kompaktorokkal 800-1000 kg/m<sup>3</sup>, egyes speciális eljárásokkal 1000 kg/m<sup>3</sup>-nél nagyobb érték is elérhető. A lerakott hulladék sűrűsége a lerakóban értelemszerűen a mélységnek is függvénye. Minél mélyebben lévő réteget vizsgálunk, annál nagyobb a térfogatsűrűség, mivel a hulladék egyre konszolidáltabb. **A 6.85. ábrán** helyszíni vizsgálatokkal meghatározott térfogatsűrűség értékek láthatók, különböző korú hulladékok esetén. Mint látható átlagosan 750-800 kg/m<sup>3</sup> térfogatsűrűség értéket mértek, és 20-30 m mélységben 1200-1300 kg/m<sup>3</sup> volt a jellemző érték. Az állékonyságvizsgálatoknál 1000-1200 kg/m<sup>3</sup> értékkel vehetjük figyelembe a hulladék súlyából adódó tömeget.



**6.85. ábra**

Helyszíni vizsgálatokkal meghatározott térfogatsűrűség értékek különböző korú hulladékok esetében (OWEIS - KHERA, 1990.)

A **nyírószilárdsági paramétereknek** talán még a térfogatsűrűség értékeknél is nagyobb a szórása. A **6.15. táblázat** és a **6.86. ábra** különböző eredetű és összetételű hulladékok különböző módszerekkel meghatározott *kohézió* és *belső súrlódási szög* értékeit tünteti fel. Mint látható az értékpárok igen széles tartományban fordulnak elő, s nehéz állást foglalni, hogy a tervezésnél mely értékpárokkal dolgozzunk.

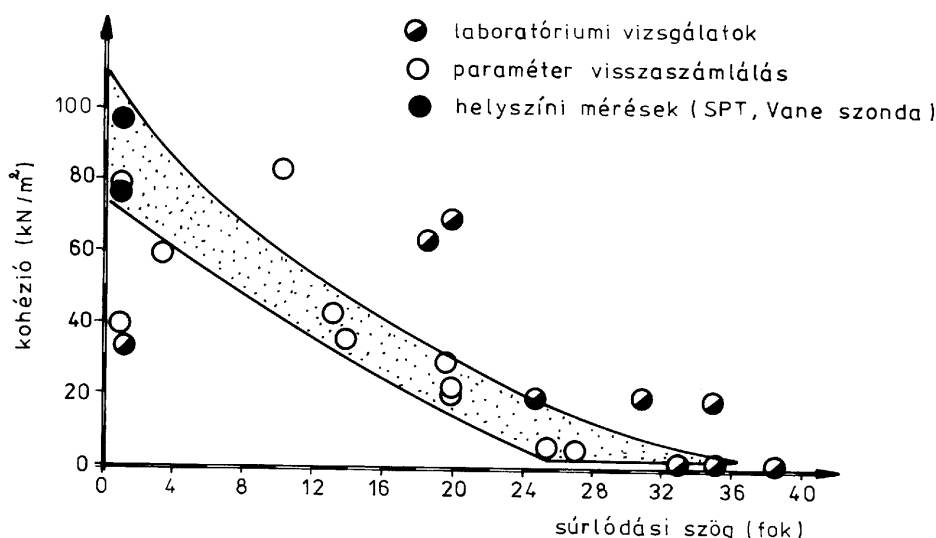
MANASSERO és szerzőtársai (1996) abból a több kutató által is javasolt megközelítésből indultak ki, hogy a laboratóriumi és helyszíni mérésekből nyert, valamint meglévő lerakók

állékonyságvizsgálati adataiból visszszámított nyírószilárdsági paraméterek feldolgozását célszerű az átlagos normálfeszültség és a mobilizált nyírószilárdság figyelembevételével elvégezni.

6.15. táblázat

| <i>Különböző hulladékokra jellemző nyírószilárdsági paraméterek irodalmi adatok alapján</i><br><i>(JESSBERGER, 1990)</i> |                     |                                             |                                                                                                                                    |                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Nyírószilárdsági paraméterek                                                                                             |                     | Térfogat-<br>sűrűség<br>(t/m <sup>3</sup> ) | Peremfeltételek                                                                                                                    | Szerző                             |
| Súrlódási szög<br>( $\phi$ ; fok)                                                                                        | Kohézió<br>(c; kPa) |                                             |                                                                                                                                    |                                    |
| 30-40                                                                                                                    | 0                   | 0,8-1,2                                     | Megbecsült összetétel:<br>háztartási hulladék (beleértve salak,<br>hamu, gumiabroncs stb.)                                         | Cassina<br>(1979.)                 |
| 30-35                                                                                                                    | 10-20               | 0,3-0,7                                     |                                                                                                                                    | Gondolla et al.,<br>(1979.)        |
| 30                                                                                                                       | -                   | -                                           | kb. 30 éves hulladék<br>meghatározás: direkt nyírás                                                                                | Rettenberger et<br>al.,<br>(1980.) |
| 15-17                                                                                                                    | 10                  | 0,7-1,1                                     | visszszámolással meghatározott<br>paraméterek                                                                                      | Spillmann<br>(1980.)               |
| 38                                                                                                                       | 7                   | 1,0-1,2                                     | háztartási hulladék                                                                                                                | Gay et al.,<br>(1978.)             |
| 26,5<br>26<br>42                                                                                                         | 28<br>28<br>7       | 0,8-1,1<br>0,9-1,2<br>0,9-1,2               | - friss hulladék csurgalékvízzel<br>- friss hulladék szennyvíziszappal<br>- szemét-szennyvíziszap 9 hónappal<br>a lerakás után     | Gay et al.,<br>(1981.)             |
| 25-35                                                                                                                    | 0<br>(1-20)         | 0,7-1,1                                     | - települési hulladékösszlet<br>(tapasztalatok alapján)                                                                            | Müller<br>(1981.)                  |
| 24<br>38<br>19                                                                                                           | 23<br>16<br>24      | -<br>-<br>-                                 | - aprított települési hulladék (papír,<br>műanyag)<br>- idős hulladék<br>- kutatás és irodalom alapján<br>(konyhai hulladék)       | Landva et al.,<br>(1984.)          |
| 17,5                                                                                                                     | 7,5                 | 1,0                                         | - lerakó szennyvíziszappal                                                                                                         | Salomo<br>(1985.)                  |
| 33<br>32                                                                                                                 | 30<br>20            | 0,9-1,3<br>1,3-1,6                          | - kb. 40 éves települési hulladék<br>- kommunális jellegű ipari hulladék                                                           | Henke<br>(1985.)                   |
| 32-38<br>30-35                                                                                                           | 5-15<br>0-10        | 1,2-1,6<br>1,2-1,4                          | - terepi- és labormérések és<br>rézsűállékonysági számítások<br>alapján<br>- települési hulladék<br>- települési és ipari hulladék | Schuhmann<br>(1989.)               |
| 38-40<br>17-23                                                                                                           | 30-50<br>0-10       | 0,4-1,0<br>0,8-1,2                          | - friss háztartási hulladék<br>- idősebb háztartási hulladék                                                                       | Turczynski<br>(1990.)              |
| 30<br>25<br>20-25                                                                                                        | 20<br>0<br>0        | 1,0(1,3)<br>1,5<br>1,5                      | - települési hulladék (friss)<br>- idősebb települési hulladék<br>- előkezelt települési hulladék                                  | Drescher<br>(1990.)                |
| 25<br>17,5                                                                                                               | 5<br>5              | 1,0<br>1,0                                  | - települési és ipari hulladék<br>- hulladék szennyvíziszappal                                                                     | Pregl<br>(1988.)                   |

|                |           |                    |                                           |                       |
|----------------|-----------|--------------------|-------------------------------------------|-----------------------|
| 30-40<br>25-32 | 0-10<br>- | 1,0-1,6<br>1,5-1,8 | - építési törmelék<br>- szennyezett talaj | Turczynski<br>(1990.) |
|----------------|-----------|--------------------|-------------------------------------------|-----------------------|



6.86. ábra

A hulladék nyírószilárdsági paramétereit irodalmi adatok, laboratóriumi és helyszíni mérések alapján (SINGH - MURPHY, 1990.)

Számos mérés és esettanulmány eredményét foglalták össze a **6.87. ábrán**. 300 mm átmérőjű triaxiális vizsgálatok alapján KÖNIG-JESSBERGER (1997.) arra a következtetésre jutott, hogy a kommunális hulladékok általában nem jellemezhetők egyetlen  $c; \phi$  értékpárral, a nyírószilárdsági paraméterek értéke nagymértékben függ a deformáció mértékétől, azaz a nyírószilárdság mobilizációjától. Természetesen az eredmények szórásában jelentős szerepet játszik a hulladék összetétele, tömörsége, kora, stb.

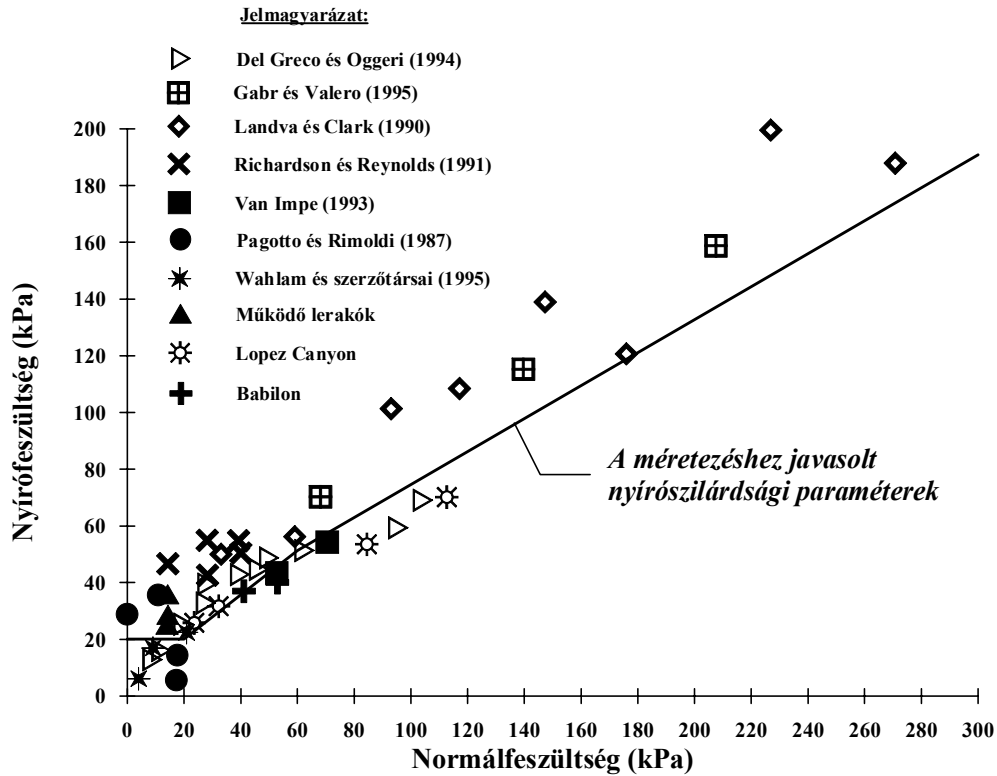
A fent leírtakból megállapítható, hogy az állékonyságvizsgálatoknál figyelembe vett nyírószilárdsági paraméterek erősen becsült értékek, mivel konkrét vizsgálatok elvégzésére ritkán nyílik lehetőség.

MANASSERO és szerzőtársai a 6.87. ábrán feltüntetett adatok szakaszos kiegyenlítése alapján a tervezésnél a várható átlagos normálfeszültség ( $\sigma_v$ ) függvényében javasolja a nyírószilárdsági paraméterek megválasztását, az alábbiak szerint:

- nagyon kis normálfeszültségek esetén ( $0 < \sigma_v < 20$  kPa):  $c=20$  kPa;  $\phi=0^\circ$
- kis-közepes normálfeszültségek esetén ( $20 < \sigma_v < 60$  kPa):  $c=0$  kPa;  $\phi=38^\circ$
- nagyobb normálfeszültségeknél ( $60 < \sigma_v$ ):  $c \geq 20$  kPa;  $\phi=30^\circ$

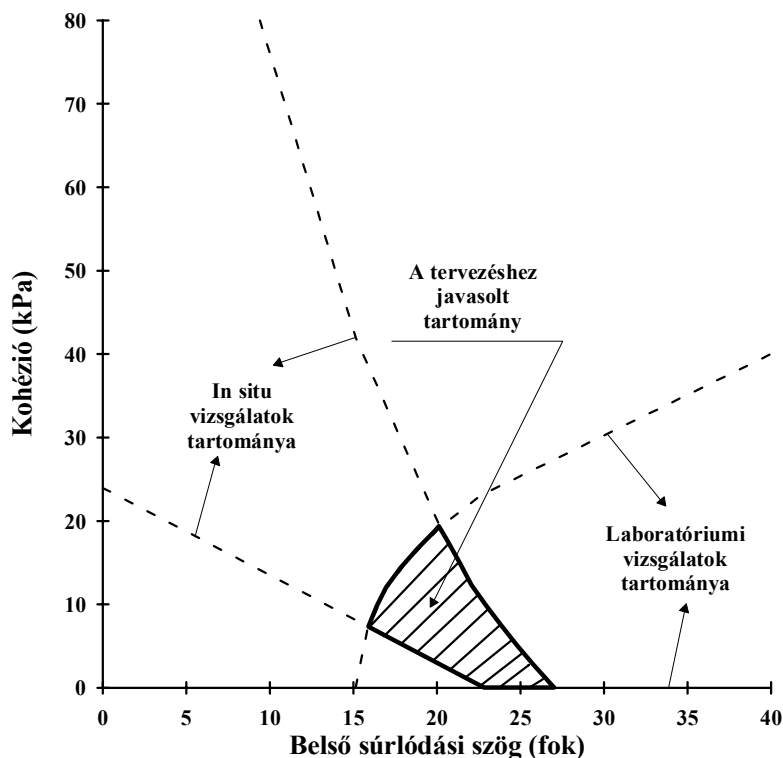
Az osztrák gyakorlat általában  $c = 5$  kPa;  $\phi = 25^\circ$  értékkel számol. Ezzel az értékpárral számolva pl. a hódmezővásárhelyi kommunálhulladék-lerakónál (30 m magasság, 1:2 oldalhajlás, 10 m-ként egy-egy 3 m széles padkával) a minimális biztonsági tényező 1,41;  $c = 20$  kPa és  $\phi = 20^\circ$  esetén 1,57 értékre adódott (SZABÓ, 1994.).

Az osztrák gyakorlattal összhangban van SANCHEZ-ALCITURRI és szerzőtársainak (1993.) javaslata, amely a helyszíni és laboratóriumi vizsgálatokkal egyaránt megerősített értékpárok figyelembevételét javasolja a **6.88. ábra** szerint.



**6.87. ábra**

Kommunális hulladékok nyírószilárdsági vizsgálatainak összefoglaló eredményei (MANASSERO et al., 1996.)



6.88. ábra

A kommunális hulladékok nyírószilárdsági paramétereinek a tervezéshez javasolt értékei (SANCHEZ-ALCITTURI et al., 1993.)

Az állékonyság-vizsgálat a depóniatestre elvégezhető valamely hagyományos módszerrel, bár azok eredetileg az alapvetően más viselkedésű talajokra készültek, azonban a számításoknak a hulladékjellemzők értékének becsléséből adódóan oly nagy a bizonytalansága, hogy ez a közelítés megengedhető, de a számítások eredményét kellő kritikával kell fogadnunk.

Ugyancsak hagyományos geotechnikai módszerekkel vizsgálható a hulladéklerakó terhelésének hatására az altalajban bekövetkező *alaptörés veszélye is*. Ilyen jellegű tönkremenetel elsősorban a *dombépítéssel kialakított*, ill. a *lejtőnek támaszkodó* depóniáknál jöhet létre. A méretezés elvégezhető a KÉZDI (1976.) által a külfejtések hányói alatt bekövetkező alaptörések vizsgálatára javasolt módszerrel.

A hulladéklerakókkal kapcsolatos állékonysági vizsgálatok sajátos problémakörét képviselik azok az esetek, amikor a mozgás a *műszaki védelem elemei (geomembrán, geotextília v. geonet)* és a *hulladék vagy a fedőréteg (védőréteg)* között következik be. Az állékonyság-vizsgálatoknál *azt a tönkremeneteli felületet kell vizsgálni, ill. megkeresni, amely mentén a legkisebb a megcsúszással szembeni biztonság.*

A vizsgálatoknak számos variációja lehet, amelyek közül a három legjellemzőbb:

a) az oldalfalszigetelés és a fedőréteg (védő- vagy szivárgóréteg) közötti megcsúszás lehetősége (6.89. ábra);

b) a depóniát lezáró műanyag fólia és a fölötté lévő védőréteg közötti megcsúszás lehetősége;

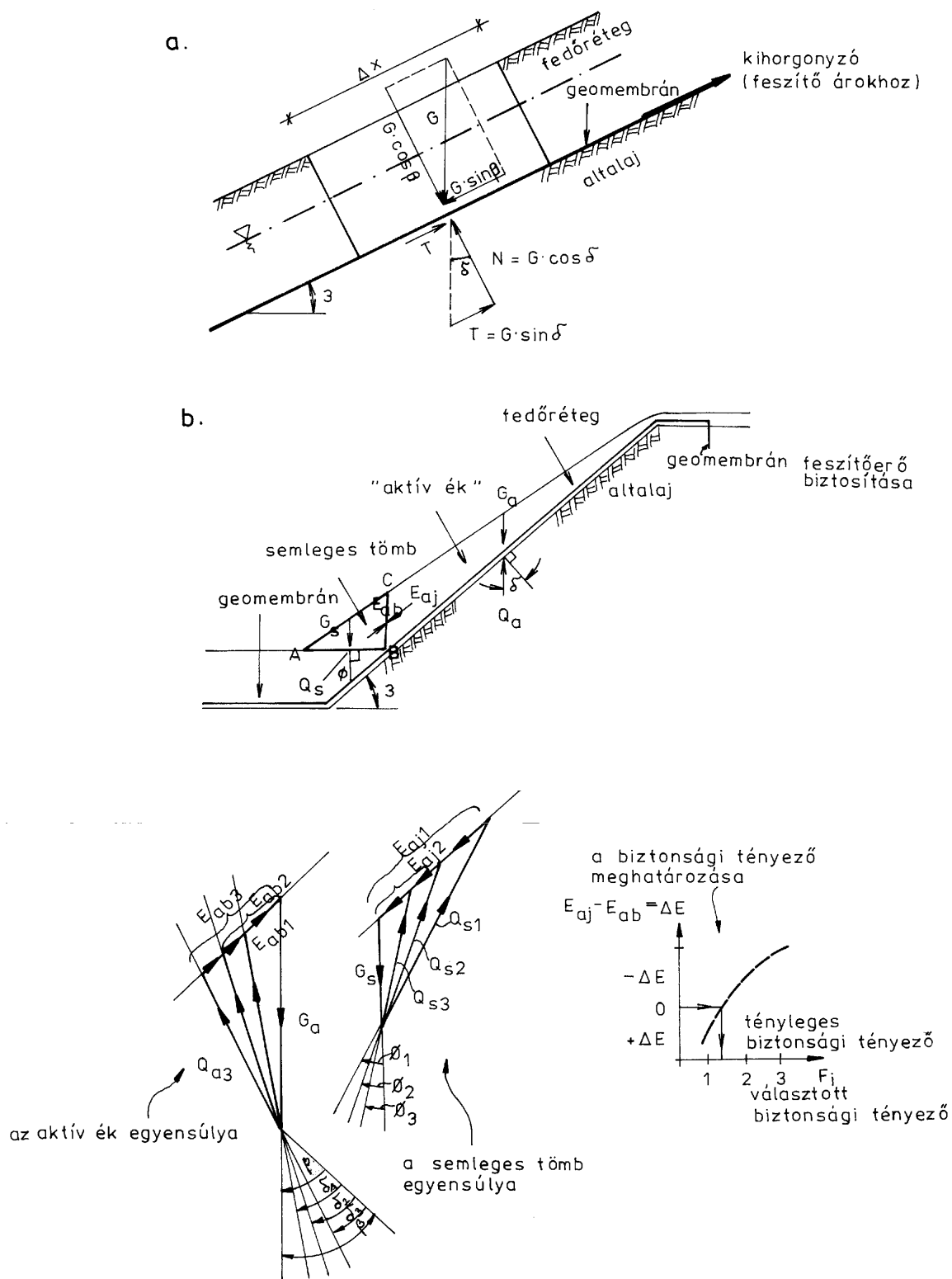
c) a dombépítéssel kialakított, vagy a lejtőnek támaszkodó depóniáknál az aljzatszigetelésen való megcsúszás lehetősége (**6.90. ábra**).

Az a) és b) pontban azonos a problémával van dolgunk, csak a vizsgálandó hely és a paraméterek (pl. fedőréteg vastagság) különböznek.

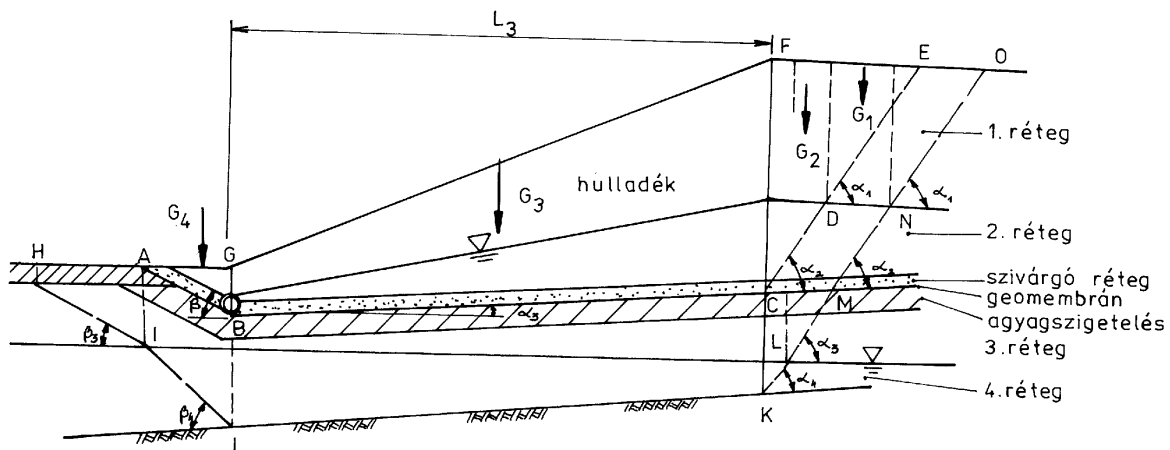
Ahhoz, hogy a vizsgálatokat el tudjuk végezni, szükségünk van az egymáson elmozduló rétegek, elemek közötti súrlódási szög ismeretére. A meghatározás módjával az *5.4.4. fejezet* foglalkozik, tájékoztató értékeket az *5.16.-5.17. táblázatok* közölnek. A talaj és a geomembrán közötti megcsúszás helyes kivitelezés esetén *csak a geomembrán és a fölötte lévő talajréteg* között következhet be, mert az altalajon való megcsúszás ellen strukturált felületű geomembrán alkalmazásával hatékonyan lehet védekezni.

Az *oldalfalak állékonyság-vizsgálatánál a geomembrán és a fedőréteg* közötti megcsúszás elemzésénél meg kell különböztetnünk, azt a két esetet, amikor a fedőréteg vastagsága egyenletes (**6.89.a ábra**), ill. azt amikor vastagsága változó (**6.89.b ábra**).





**6.89. ábra**  
A hulladéklerakó oldalfalán a fedőrétegeknek a geomembránon való megcsúszásának a vizsgálata



6.90. ábra

Az aljzatszigetelésen való megcsúszás vizsgálata

Egyenletes fedőrétegvastagság esetén a megcsúszással szembeni biztonság az egységnyi szélességű,  $\Delta x$  hosszúságú blokk egyensúlyát vizsgálva:

ha  $c' = 0$

$$F = \frac{T}{G \cdot \sin \beta} = \frac{N \cdot \tan \delta}{G \cdot \sin \beta} = \frac{G \cdot \cos \beta \cdot \tan \delta}{G \cdot \sin \beta} \quad (6.50.)$$

$$F = \frac{\tan \delta}{\tan \beta} \quad (6.51.)$$

ha  $c' \neq 0$

$$F = \frac{c' \cdot \Delta x + G \cdot \cos \beta \cdot \tan \delta}{G \cdot \sin \beta} \quad (6.52.)$$

ahol:

$\delta$ : a fedőréteg és a geomembrán közötti súrlódási szög,

$c'$ : a fedőréteg és a geomembrán közötti adhézió.

Depóniák fedőrétegénél az előző összefüggésnél figyelembe kell venni egy *esetlegesen kialakuló vízáramlás* hatását is, ami egy nagyobb esőzés esetén bekövetkezhet.

Ha az *oldalfalon a geomembrán fölötti fedőréteg vastagsága változó*, a méretezést a teljes oldalfalon működő erők alapján kell elvégezni, ami az ABC tömb, az ún. *semleges blokk egyensúlyának a meghatározásával* történhet (6.89.b ábra). Ha a fölötte lévő földtömeget aktív éknek nevezzük, akkor különböző biztonsági tényező érték választásával, azaz  $\delta$  változtatásával meghatározzuk a  $G_a$  súlyerő, a  $Q_a$  támasztóerő és az  $E_{ab}$  földnyomás vektorháromszögét. Ugyanúgy meghatározzuk a semleges tömbre vonatkozó  $G_s$ ,  $E_{aj}$  és  $Q_s$  erőkől szerkesztett vektorháromszöget. A  $Q_s$  irányát itt is választott biztonsági tényezők mellett, különböző  $\phi$

értékek alapján határozzuk meg. A *tényleges biztonsági tényezőt* akkor kapjuk, ha a földék BC falára ható  $E_{ab}$  földnyomás megegyezik az  $E_{aj}$  értékével. A szerkesztésnél a földnyomást jó közelítéssel az altalajjal párhuzamosnak tekinthetjük.

Felmerülhet még a *geomembránnak az altalajon történő megcsúszásának a lehetősége*, ezt azonban nem kell vizsgálni, hanem a szükséges *kihorgonyzó (feszítő) erőt* kell meghatározni a geomembrán önsúlya, a külső terhelés és a súrlódás figyelembevételével, és ezt egy megfelelő mélységű lehorgonyzással kell biztosítani (lásd 6.89.b, valamint a 6.43. ábrán).

Mint már említettük, a dombépítéssel kialakított, vagy a lejtőnek támasztott depóniáknál megvan a lehetősége az *aljzatszigetelésen való megcsúszásnak*. Az állékonyság-vizsgálathoz szükségünk van a *szivárgóréteg és a szigetelőréteg* (geomembrán vagy természetes anyagú szigetelőréteg) közötti *súrlódási szög*re.

Az állékonyság-vizsgálathoz (**6.90. ábra**) az ABCDEFG pontokkal határolt földtömeg egyensúlyának a meghatározását kell elvégezni. Előfordulhat pl. hogy ha a depónia alatt kisszilárdságú kőzetek települnek, a megcsúszás két, mélyebben fekvő réteg határán fog bekövetkezni, ill. itt lesz kisebb a megcsúszással szembeni biztonság. Ebben az esetben a HIJKLMNOFG pontokkal határolt földtömeg egyensúlyát vizsgáljuk. A most bemutatandó módszerrel az állékonyság-vizsgálat mindkét esetre azonos módon végezhető el, hozzátéve, hogy az ismert állékonyság-vizsgálati módszerek, különösen az inhomogenitások figyelembevételét lehetővé tevő lamellás módszerek (BISHOP, JANBU, SPENCER, MORGENSTERN-PRICE) itt is jól alkalmazhatók.

Mint láttuk, a méretezéshez szükséges közetfizikai jellemzők meghatározása számos bizonytalanságot tartalmaz, így megelégedhetünk egy a biztonság javára történő elhanyagolásokat tartalmazó egyszerűbb módszerrel is (OWEIS-KHERA, 1990.; HUANG, 1982.).

A **6.90. ábra** jelöléseivel élve vagy választunk egy lehetséges tönkremeneteli felületet, vagy a lerakó felépítése alapján a felület adott (pl. az ábrán AB). Amennyiben a felületet választjuk, úgy:

$$\alpha_i = 45^\circ + \frac{\phi_i}{2} \tag{6.53.}$$

$$\beta_i = 45^\circ - \frac{\phi_i}{2} \tag{6.54.}$$

A méretezést itt is úgy végezzük, hogy választott biztonsági tényező esetén meghatározzuk a csúszást elősegítő aktív ( $P_{aH}$ ) és akadályozó passzív ( $P_{pH}$ ) erők nagyságát. Ezek vízszintes vetületére nézve igaznak kell lenni, hogy:

$$\sum P_{aH} = \sum P_{pH} \tag{6.55.}$$

Ha a fenti egyenlőség fennáll, akkor a csúszással szembeni biztonság a választott (becsült) biztonsági tényező. Amennyiben a két erő nem egyenlő, újabb biztonsági tényező értéket választunk, és a számítást megismételjük mindaddig, amíg a feltétel nem teljesül.

A méretezés menete a következő:

- 1) Meghatározzuk  $\alpha_i$  értékeit.
- 2) Választunk egy  $F_1$  biztonsági tényezőt, s így a mobilizált nyírószilárdsági paraméterek:

$$\phi_{mi} = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\phi_{ti}}{F_1}\right) \quad (6.56.)$$

$$c_{mi} = \frac{c_{ti}}{F_1} \quad (6.57.)$$

ahol:  $\phi_t$  és  $c_t$  a tényleges belső súrlódási szög és kohézió.

- 3) A csúszást elősegítő aktív erők vízszintes összetevőjének meghatározása lamellánként:

$$P_{aHi} = [G_i - c_{mi} \cdot L_i \cdot \sin\alpha_i - u_i \cdot \cos\alpha_i] \tan(\alpha_i - \phi_{mi}) - [c_{mi} \cdot L_i \cdot \cos\alpha_i + u_i \cdot \sin\alpha_i] \quad (6.58.)$$

- 4) A csúszást akadályozó passzív erők vízszintes összetevőjének meghatározása lamellánként:

$$P_{pHi} = [G_i + c_{mi} \cdot L_i \cdot \sin\beta_i - u_i \cdot \cos\beta_i] \tan(\beta_i + \phi_{mi}) + [c_{mi} \cdot L_i \cdot \cos\beta_i + u_i \cdot \sin\beta_i] \quad (6.59.)$$

- 5) Megnézzük, hogy

$$\sum P_{aHi} \diamond \sum P_{pHi} \quad (6.60.)$$

– ha

$$\sum P_{aHi} > \sum P_{pHi} \quad (6.61.)$$

a választott  $F_1$ -nél kisebb új  $F_2$  biztonsági tényezővel végezzük újra a számítást;

– ha

$$\sum P_{aHi} < \sum P_{pHi} \quad (6.62.)$$

a választott  $F_1$ -nél nagyobb új  $F_2$  biztonsági tényezővel megismételjük a számítást.

A 2-5 pontban leírt lépéseket mindaddig ismételjük, amíg az aktív és passzív erők megegyeznek, s így megkapjuk az állékonyság biztonsági tényezőjét.

Az összefüggésekben szereplő új jelölések:

- $G_i$ : a lamella súlya,
- $L_i$ : a csúszólapszakasz hossza a lamella alján,
- $u_i$ : a lamellára ható pórusvíznyomás.

Természetesen a méretezést itt is több, lehetséges összetett csúszólap mentén kell elvégezni, s a *kapott legkisebb biztonsági tényező* lesz a mértékadó érték. Mint a **6.90. ábrán** látható, a szigetelőrétegen történő megcsúszás vizsgálatakor a passzív oldalon  $\beta_i$  adott, míg ha egy mélyebb rétegen történő megcsúszás lehetőségét vizsgáljuk, akkor

$$\beta_i = 45^\circ - \frac{\phi_i}{2} \quad (6.63.)$$

### **6.2.5.2. A depóniaaljazat várható süllyedése**

A depóniaaljazat várható süllyedésének minél pontosabb meghatározása alapvetően fontos, mert a csurgalékvízgyűjtő rendszer elemeinek előírt esését a süllyedések lejátszódása után is biztosítani kell. A várható süllyedés értékével a depóniaaljazatot meg kell emelni, s lévén szó több hektárnyi felületről, igen jelentős földmunka mennyiségről kell döntenünk a számítások alapján.

A süllyedésszámítás elvégzése elméletileg különösebb gondot nem okoz, a talajmechanikai, alapozási gyakorlatból jól ismert. A gyakorlati kivitelezés során *alapvető különbség a terhelést átadó felületek nagyságában van*. Egy alapozási feladatnál néhány m<sup>2</sup>-nyi felületről van szó, míg egy lerakónál ez a felület több ezer m<sup>2</sup>. Mivel a tapasztalat szerint a *határmélység* függ a terhelést átadó felület nagyságától, a hulladéklerakóknál egy-két nagyságrenddel nagyobb *határmélységek* adódnak. Ilyen mélységig többnyire nem rendelkezünk elegendő információval a földtani felépítést és a közt fizikai jellemzőket illetően. (Határmélység: a süllyedésszámítás szempontjából figyelembe veendő összenyomódó rétegvastagság).

A süllyedésszámítást az alábbi lépések alapján kell elvégezni:

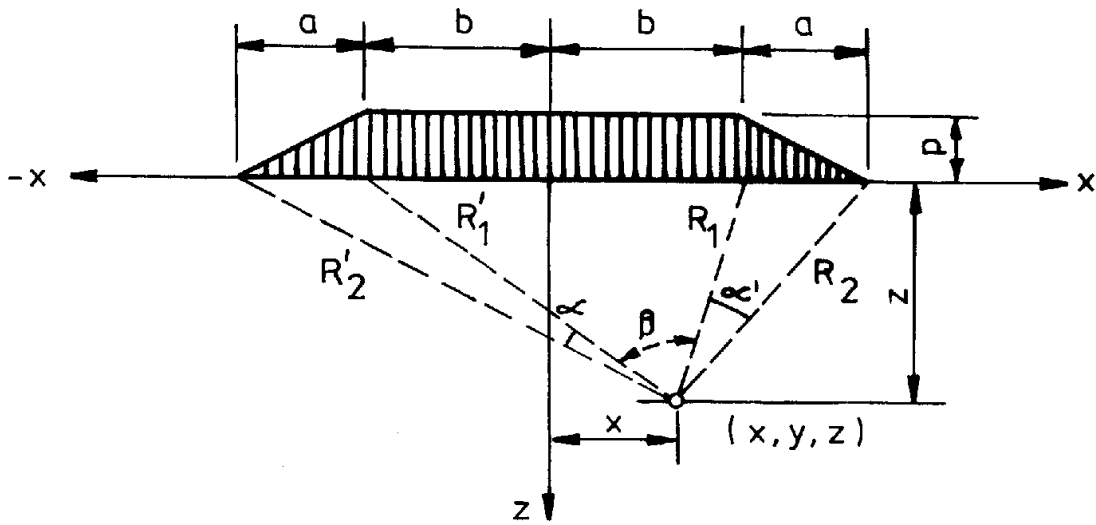
- a hulladéklerakó terhelése által keltett feszültségek meghatározása;
- a határmélység megállapítása;
- a süllyedések összegzése rétegenként.

A lerakó terhelése által keltett *feszültségek meghatározása* többnyire a rugalmasságtanból ismert összefüggések alapján történik. A **6.91. ábra** egy lehetséges megoldást mutat be, amikor is az ábra szerinti felszíni terhelésre bármely alatta lévő pontban a feszültségkomponensek meghatározhatók. A szakirodalomban gyakorlatilag bármely terhelési esetre kidolgozott összefüggések állnak rendelkezésre (TEFERA-SCHULTZE, 1988.; SZÉCHY, 1971.).

A gyakorlati feladatok megoldásánál legpontosabban akkor járunk el ha:

- a depónia terhelését zárt felületek terhelésének az összegeként közelítjük;
- felületenként meghatározzuk az adott felszín alatti pontban a feszültség-összetevőket;
- a feszültség-komponenseket az adott pontban összegezzük.

A **6.92 ábra** szemlélteti a depóniaterhelés részterhelésekre való felbontásának a módját. Adott zárt felületen elhelyezett terhelés által az általaj bármely pontjában keltett feszültség meghatározása visszavezethető a zárt felület alatti terhelés sarokpontja alatti feszültségek számítására, ami a talajmechanikai gyakorlatban jól ismert (pl. STEINBRENNER). A feszültségszámításhoz többnyire kész programok állnak rendelkezésre, vagy a viszonylag egyszerű összefüggésekkel történő számítás könnyen programozható (SÁNDOR, 1995.; SÁNDOR-KOVÁCS-SZABÓ, 1995.).



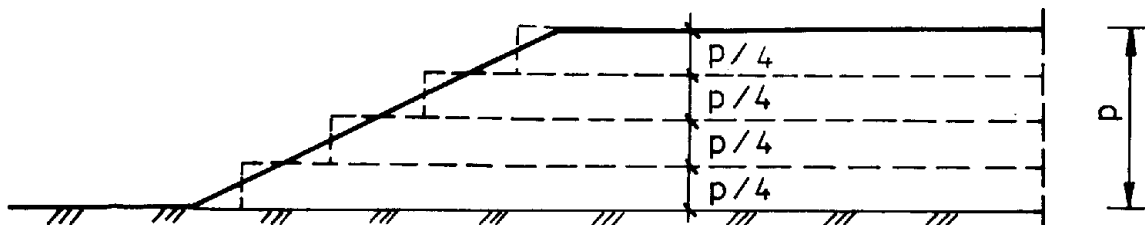
$$\sigma_x = \frac{p}{\pi} \left[ (\alpha + \beta + \alpha') + \frac{b}{a}(\alpha + \alpha') + \frac{x}{a}(\alpha - \alpha') - 2 \cdot \frac{z}{a} \cdot \ln \left( \frac{R_2' \cdot R_2}{R_1' \cdot R_1} \right) \right]$$

$$\sigma_z = \frac{p}{\pi} \left[ (\alpha + \beta + \alpha') + \frac{b}{a}(\alpha + \alpha') + \frac{x}{a}(\alpha - \alpha') \right]$$

$$\tau_{xz} = \frac{p}{\pi} \cdot \frac{z}{a} \cdot (\alpha - \alpha')$$

6.91. ábra

A feszültség-komponensek meghatározása a depónia alatti féltérben



6.92. ábra

A depóniaterhelés részterhelésekre való bontásának elve

Amennyiben ismerjük egy adott függvényben a feszültségeloszlást, úgy a földtani adottságok vagy szabályzatok alapján meghatározható a *határmélység*. A szabályzatok alapján történő határmélység meghatározásának az alapgondolata: meg kell határozni azt a mélységet, ahol a terhelésből adódó többletfeszültség egyenlő a geosztatikai nyomás egy megadott hányadával, ami a jelenlegi hazai, az alapozások tervezésére vonatkozó szabályozásban 1/5, azaz a geosztatikai nyomás 20%-a. Hulladéklerakók esetében ezzel a feltétellel számítva a határmélységet igen nagy értékek, és ebből adódóan jelentős várható süllyedésértékek adódnak. A határmélység meghatározása hulladéklerakók okozta terhelések esetében ma még kellően nem tisztázott, s további kutatásokat igényel. Nagy vízepítési műtárgyaknál a  $\sigma_z = 0,5 \cdot \sigma_g$  ( $\sigma_g$ : a geosztatikai nyomás) feltétellel számított határmélységnél kaptak reális eredményt (VARGA, 1971.).

Amennyiben ismerjük a határmélységet ( $m_0$ ), akkor a süllyedés:

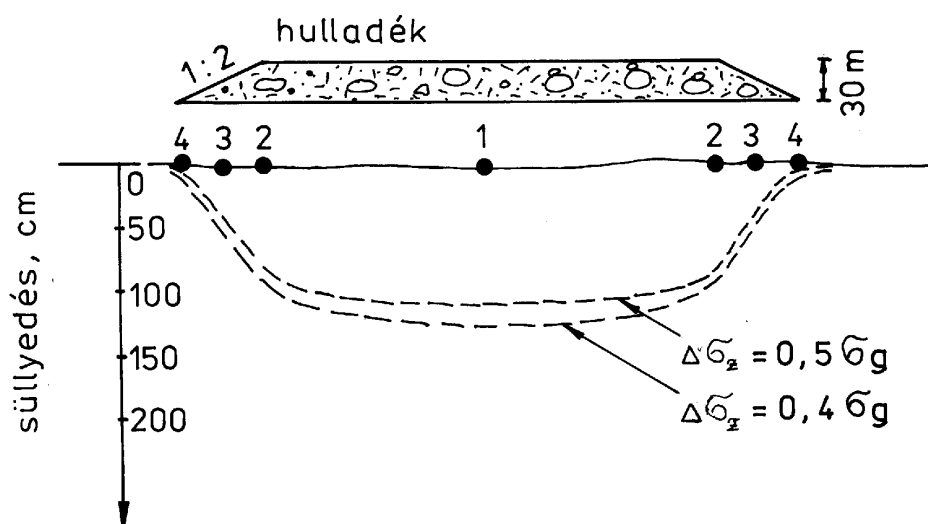
$$S = \frac{1}{M} \int_0^{m_0} \sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y) dz \quad (6.64.)$$

összefüggéssel számítható, ahol:

- M: az altalaj összenyomódási modulusa,
- $\sigma_z$ : a többletfeszültség vertikális komponense,
- $\sigma_x$ ;  $\sigma_y$ : a többletfeszültség horizontális komponensei,
- $\mu$ : a Poisson tényező.

Rétegzett altalaj esetén az **M** és  **$\mu$**  értékeit rétegenként kell figyelembe venni.

A **6.93. ábra** a hódmezővásárhelyi kommunálshulladék-lerakó esetében a depónia középvonalaiban meghatározott süllyedéseket tünteti fel. Mint látható, az 1. pontban a várható süllyedés értéke 117-127 mm (SZABÓ, 1994.).



**6.93. ábra**

A hódmezővásárhelyi kommunálshulladék-lerakó középvonalaiban várható süllyedések (SZABÓ, 1994.)

### 6.3. Nagybiztonságú hulladéklerakók

Az eddigiekben megismert depóniakialakítások is megfeleltek a *többszörös védelem* alapvető elvének, azonban egy esetleges meghibásodás esetén még mindig megvan a lehetősége a szennyezőanyagok területről való kijutásának. Az utóbbi néhány évben merült fel a nagybiztonságú hulladéklerakó gondolata, s azóta néhány már meg is valósult. Az ilyen lerakóknak az általánosan megkívánt alapkövetelményeken túl meg kell felelniük az alábbiaknak is:

- többszörös szigetelőrendszer (természetes, mesterséges), illetve biztonsági rendszer;
- egyszerű, folyamatos ellenőrzési lehetőség;
- mindenkor problémamentes javíthatóság, még mielőtt a szennyeződések a rendszerből kijutnának. (BURKHARDT-THEURER, 1987.).

A fenti feltételeket ki lehet elégíteni a hagyományos építésű depóniáknál is:

- a terület körbezárása speciálisan kialakított vízzáró részfalal és a vízszint szabályozásával;
- a depónia alatti szigetelőrendszer javíthatóvá tételével;
- járható aléptímmel rendelkező depóniákkal.

A különleges biztonság követelményeit természetesen kielégítik a tárolószerűen kialakított lerakók is, amit szerkezeti megoldásuk eltérő volta miatt a következő fejezetben tárgyalunk. Meg kell azonban jegyezni, hogy a járható aléptímmel rendelkező depóniák mintegy átmenetet képezve, valójában mindkét lerakótípushoz is sorolhatók.

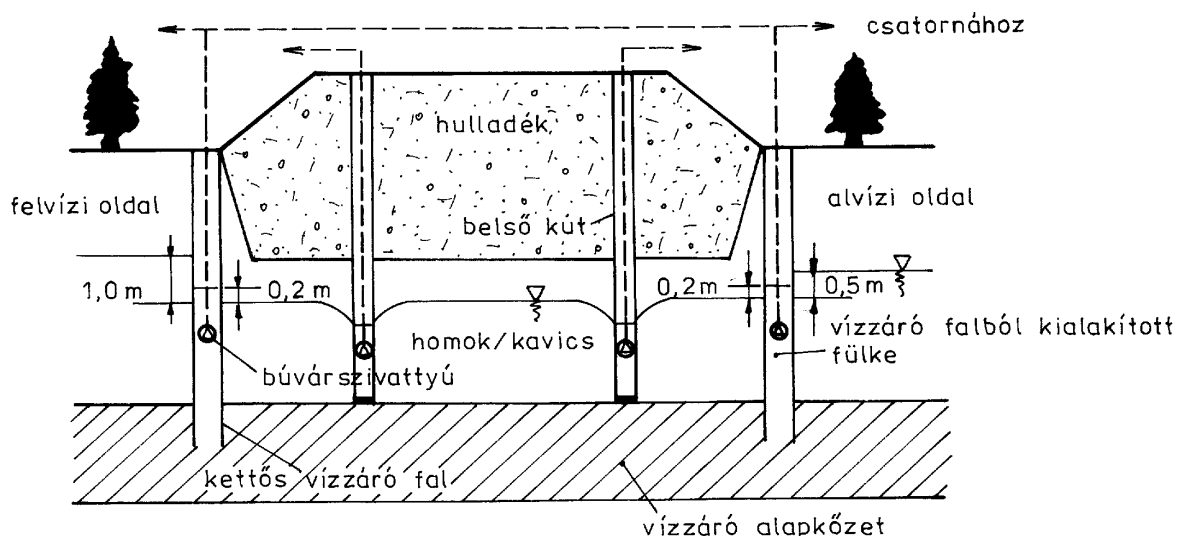
A hulladéklerakók alatti, vagy környezetében elszennyezett talajrétegben a szennyeződés továbbterjedésének megakadályozására már korábban is számos esetben sikerrel alkalmazták a nátrium-bentonit/cement-, valamint a kalcium-bentonit/cement szuszpenzióval *kialakított függönyfalat* vagy *keskeny részfalat*, amelynek nincs teherviselő funkciója, az elsődleges cél a terület vízzáró körülzárása.

A bécsi *Rautenweg* kerületben lévő hulladékdepónia már mintegy 20 éve üzemelt, s további 20 évre tervezték az üzemelés meghosszabbítását. Az elszennyeződés megakadályozása érdekében közel 3300 m ún. *fülkés-rendszerű részfalal zárták körbe* a területet, ami a korábbi vízzáró falakkal szemben egy *újszerű, ellenőrizhető* vízzáró részfalrendszert jelentett (GOSSOW, 1988.). A terület körülzárása egymástól 8 m távolságban párhuzamosan futó *résfalakkal* (max. 50 m mély, kb. 5000 m<sup>2</sup>), ill. ahol a vízzáró alapközet magasabban volt, *keskeny-résfalakkal* (max. 26 m mély (!), kb. 12700 m<sup>2</sup>) történt. A keskeny résfalak injektálása egy, a laboratóriumban előzetesen kikísérletezett összetételű Ca-bentonit+cement+kőzetörlemény keverékkel történt, amelynek a sűrűsége 1,55 t/m<sup>3</sup>, szivárgási tényezője  $k = 7 \times 10^{-9}$  m/s volt. A *résfalak kitöltése* 1,2 t/m<sup>3</sup> sűrűségű,  $6 \times 10^{-8}$  m/s szivárgási tényezőjű Ca-bentonit+cement szuszpenzióval történt.

A *rendszer újdonsága* a 26 m mély függönyfalak mellett a *fülkés rendszer*, ami azt jelenti, hogy 50-70 m-es szakaszokon a *párhuzamos részfűggönyöket keresztirányban is összekötötték*, s így  $(50 \div 70) \times 8$  m alapterületű önálló egységeket állítottak elő, s mindegyik fülkében egy-egy *kutat* is elhelyeztek, amellyel a *fülkén belüli vízszint ellenőrizhető és szabályozható*. A rendszert kiegészíti a *depóniaterületen belüli*, további 7 db *kút*, amellyel a *depónia alatti vízszint szabályozható*. A rendszer vázlatát a **6.94. ábra** tünteti fel. Mint látható a felvízi oldalon a külső és belső tér között 1,0 m, az alvízi oldalon 0,5 m vízszintkülönbség (a fülkében a kettő közötti a



vízszint) biztosításával elérhető, hogy a *depónia alatti területről szennyezőanyag egyáltalán nem juthat ki*. A körülzárás hatékonyságát bizonyítja, hogy a területről az összes kiemelt vízmennyiség 10 l/s, amiből 6,5 l/s a belső térből, 3,5 l/s a körülzáró résfal-fülkékből származik.



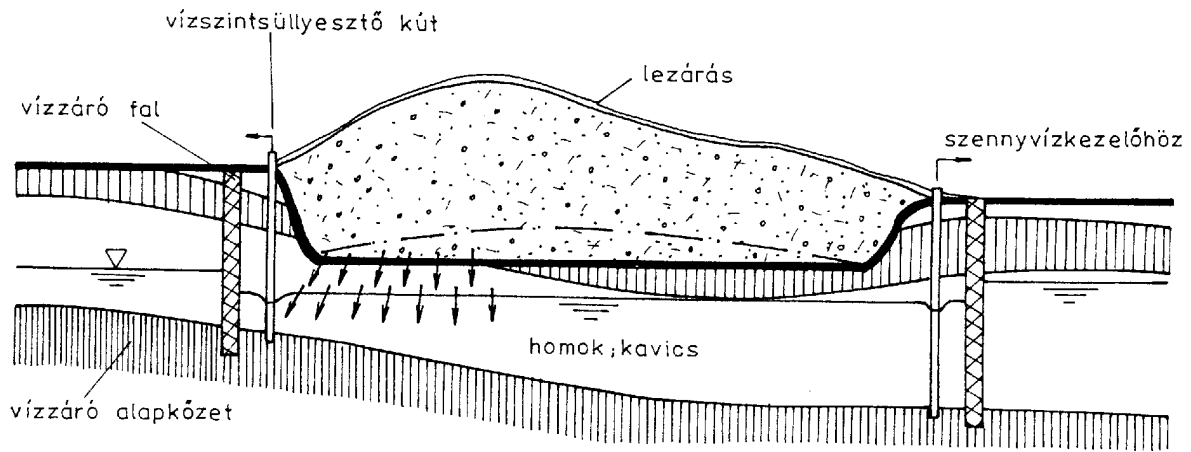
6.94. ábra

A Rautenweg-i (Bécs) hulladéklerakó alatti terület vízszintszabályozása

A víznívószabályozást tekintve hasonló megoldás született a *Gerolsheimi* (Rajna-Pfalz) veszélyeshulladék-lerakó kármentesítésekor is (STROH-BIENER, 1988.). A réskitöltő vízzáró szuszpenzió itt is Ca-bentonit, kohósalak portlandcement és adalékanyag keverékéből állt, szivárgási tényezője kisebb volt mint  $10^{-10}$  m/s. A résfal maximális mélysége elérte a 48 m-t, s 2-3 m hosszon kötötték be a harmadkori vízzáró alapkőzetbe (6.95. ábra). A munka újdonsága a HOCHTIEF cég által kifejlesztett *szigetelőlemez süllyesztési eljárás* volt, amikor is a résfalba egy *HDPE műanyag szigetelőlemezt* is beépítettek, amellyel szinte teljes vízzárást lehetett biztosítani. A jelenlegi technikai színvonal mellett kb. 30-50 m mélységig oldható meg a szigetelőlemez süllyesztése, az alkalmazott technológiától függően. A *szigetelőlemezzel kombinált résfalak* hatékonyságát jól szemléltetik a *Spreldingeni* ipari veszélyeshulladék-lerakó körbezárásakor mért adatok. A hagyományos vízzáró szuszpenzióval épített résfalnál a fajlagos átszivárgó hozam  $864 \text{ g/m}^2/\text{d}$  volt, míg a ZÜBLIN cég által kifejlesztett kombinált megoldásnál az értéke kisebb volt mint  $1 \text{ g/m}^2/\text{d}$ .

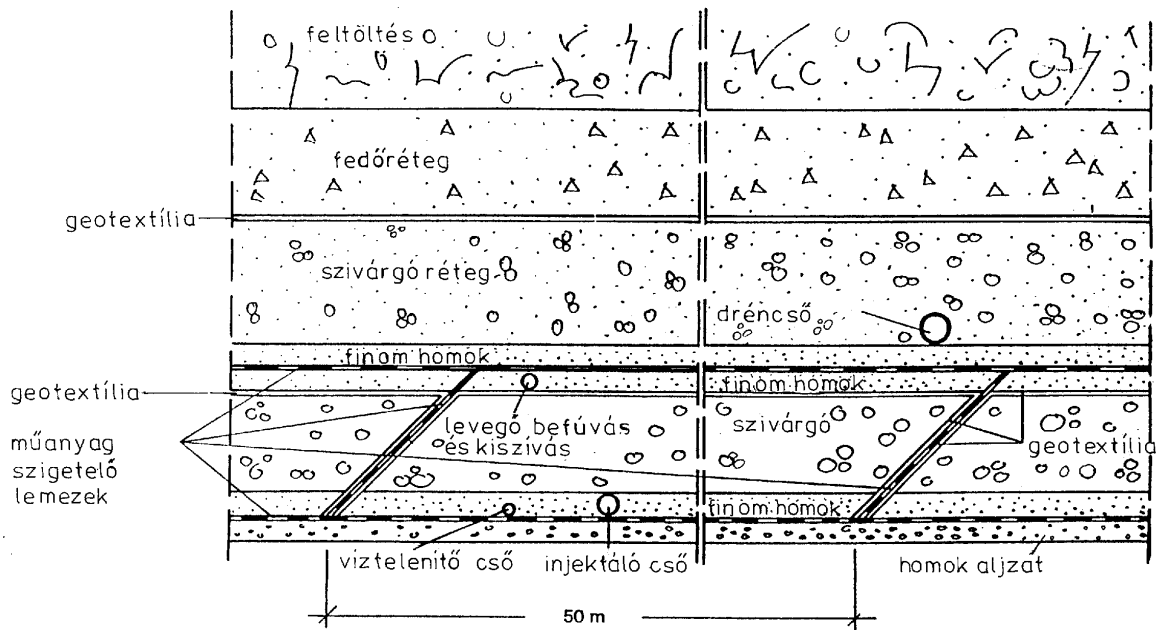
Jelentősen növelhető a biztonság, ha a szigetelőrendszer felépítése, szerkezete lehetővé teszi az *ellenőrzést* és a *javíthatóságot*. Ennek a követelménynek tesz eleget a németországi *Flotzgrün*-ben először alkalmazott, a BASF és a BILFINGER-BERGER cég által közösen kifejlesztett rendszer (6.96. ábra). Az elkészült aljzatszigetelő rendszer területe  $85\,000 \text{ m}^2$ , a depóniamagasság a végállapotban 55 m (KOCHENDOERFER, 1989.). A rendszer lényege, hogy a műanyag szigetelőlemezt megfelelően összehegesztve izolált egységek alakíthatók ki. Amennyiben a felső műanyag szigetelőlemez kémiai vagy mechanikai hatás következtében megsérül, vagy átteresztővé válik, ennek a hatása a víztelenítőrendszerben észlelhető. Ilyenkor, ha a hulladékkal való feltöltöttség még nem túl nagy, a hibahely szabaddá tehető, kijavítható. Ha viszont a feltöltés már magas, vagy befejezett, a hibás szigetelésű terület *injektálással* (pl. bentonit-cement szuszpenzióval, agyagsuszpenzióval, folyékony polimerrel) ismételt vízzáróvá tehető. Az egyes elemek elrendezését a 6.97. ábra szemlélteti. Az aljzatszigetelés

50x50 m-es mezőkre tagolt, s négy-négy mező csurgalékvizét egy-egy aknában gyűjtik (összesen 10 db). Építészeti szempontból érdekes az aknák kialakítása. 10 m-es egységekből állnak, s a hulladék üledése következtében fellépő negatív köpenysúrlódást kiküszöbölendő, az egyes egységek teleszkópszerűen elmozdulhatnak.



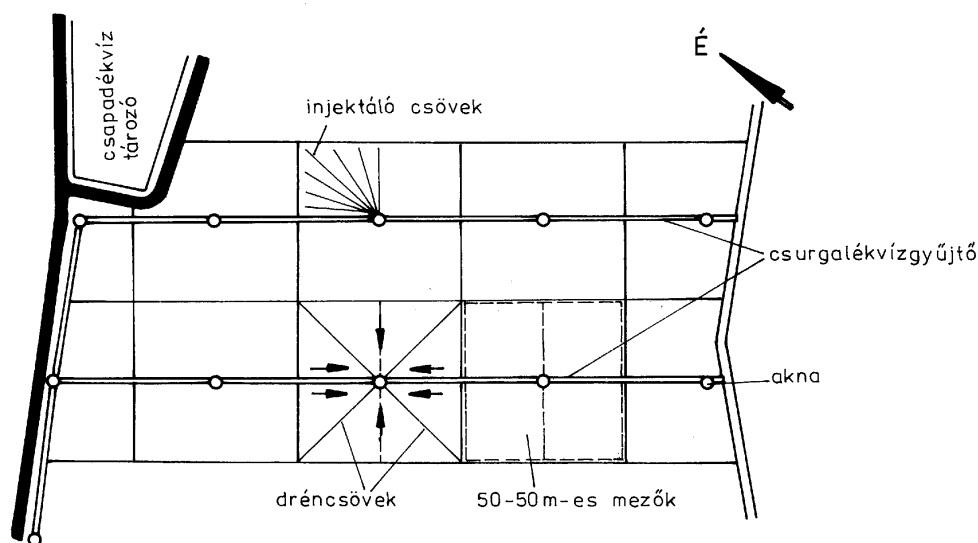
6.95. ábra

A Gerolsheim-i (Rajna-Pfalz) veszélyeshulladék-lerakó metszete  
(STROH - BIENER, 1988.)



6.96. ábra

Ellenőrizhető és javítható szigetelőrendszer (Flotzgrün, Németország)  
(GOSSOW, 1988.)



6.97. ábra

A Flotzgrün-i hulladéklerakó csurgalékvízgyűjtő rendszere  
(GOSSOW, 1988.)

A nagybiztonságú hulladéklerakók harmadik csoportjába a *járható alépitménnyel rendelkező lerakók tartoznak*, amelyek az alépitmény megoldása alapján lehetnek:

- *járható közműalagút a depónia alatt;*
- *tartószerkezettel kombinált járható aljzatterű lerakó.*

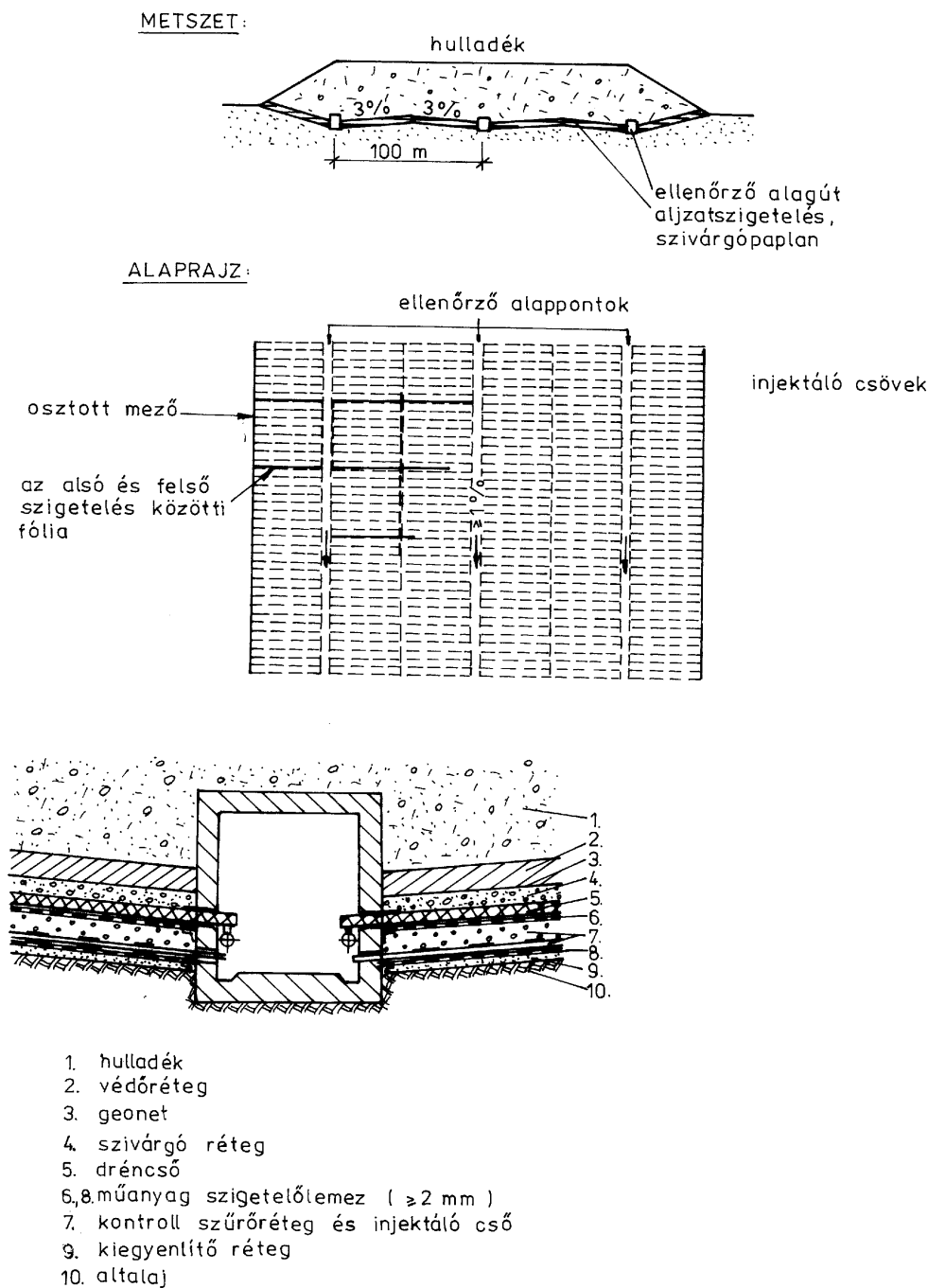
A *depónia alatti járható közműalagutakkal* kombinált aljzatszigetelésre mutat be példát a **6.98. ábra**. Az alapelv ugyanaz, mint a Flotzgrün-rendszerénél, de az aknák szerepét itt a járható közműalagutak veszik át. Az aljzatszigetelőrendszer itt is két műanyagszigetelőből épül fel, közte szivárgóréteggel, dréncsővel és injektálócsővel, az alagutak felé kialakított eséssel. A két réteget szakaszonként szigetelőlemezzel összekötve önálló, zárt, ellenőrizhető egységek (mezők) alakulnak ki (általában 50x50 m ugyanúgy, mint a 6.96. ábrán láttuk). Az aljzatszigetelő esetleges tömítetlenségét az ellenőrzőcsőben megjelenő csurgalékvíz jelzi, és a hibahelyet lehatárolva az injektálócsövekkel a tömítetlenség megszüntethető. Az injektálás célszerűen mandzsettacsővel történik, amellyel egy meghatározott helyre irányított injektálás pontosabban elvégezhető. (A módszer ismertetését lásd RÓZSA, (1977.), 606. o.). Lényegében ugyanennek a megoldásnak felel meg a HOLTMAN-rendszer (1989.), azzal a kiegészítéssel, hogy egy speciális szondával a kontroll-dréncsőből pár m<sup>2</sup> pontossággal behatárolható a hibahely.

A járható közműalagúttal kombinált aljzatszigetelés kritikus pontja a merev alagút és a flexibilis aljzatszigetelés közötti süllyedéskülönbség megakadályozása. A szerkezet alapelve megkívánja, hogy az altalaj homogén legyen, s megfelelő teherbírással, lehetőleg nagy rugalmassági modulussal rendelkezzen.

A jövő nagybiztonságú hulladéklerakói lehetnek - a ma még csak koncepciótervként ismert - *tartószerkezettel kombinált, járható aljzatterű depóniák*, amit a ZÜBLIN cég (Németország) fejlesztett ki. Ezeknél a megoldásoknál a hulladék egy *tartószerkezetre támaszkodó födémre* kerül, s az oldalhatárolás is épített szerkezet. Alapvető követelmény, hogy a *rendszer csak a maximális talajvízszint felett* helyezhető el. Igen nagy költséggel, és *relatíve kis*

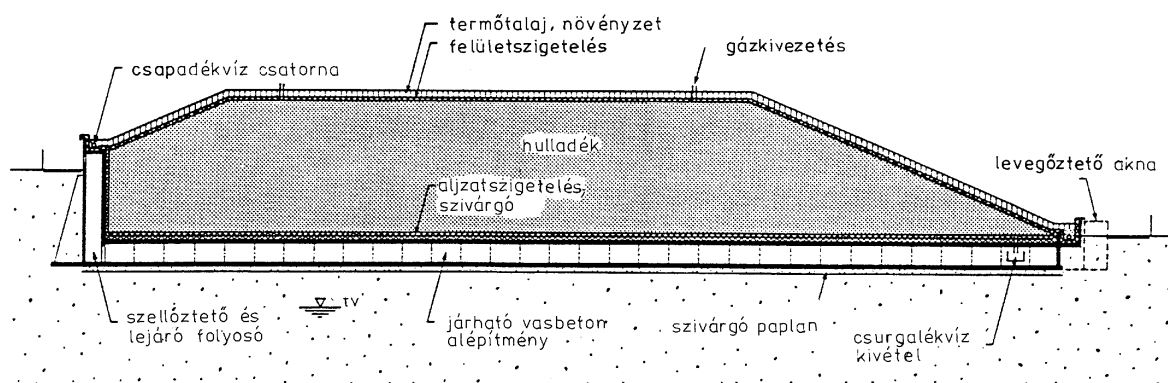
befogadóképességgel építhetők meg. A 6.99. ábra szerinti elrendezésű vasbeton lemezre kerülő hulladéknál 150x150 m alapterület esetén a befogadóképesség kb. 160 000 m<sup>3</sup>.

A 6.99. ábra egy teherbíró lemezre kerülő depónia vázlatos metszetét, míg a 6.100. ábra az aljzatszigetelés megoldását és a hulladék ejtőkutakkal történő víztelenítést mutatja. A teherbíró lemez készülhet előregyártott elemekből is, mint ahogy az a 6.101. ábrán látható, amely egyben bemutatja a szigetelés tömítetlensége helyi javításának módját is.

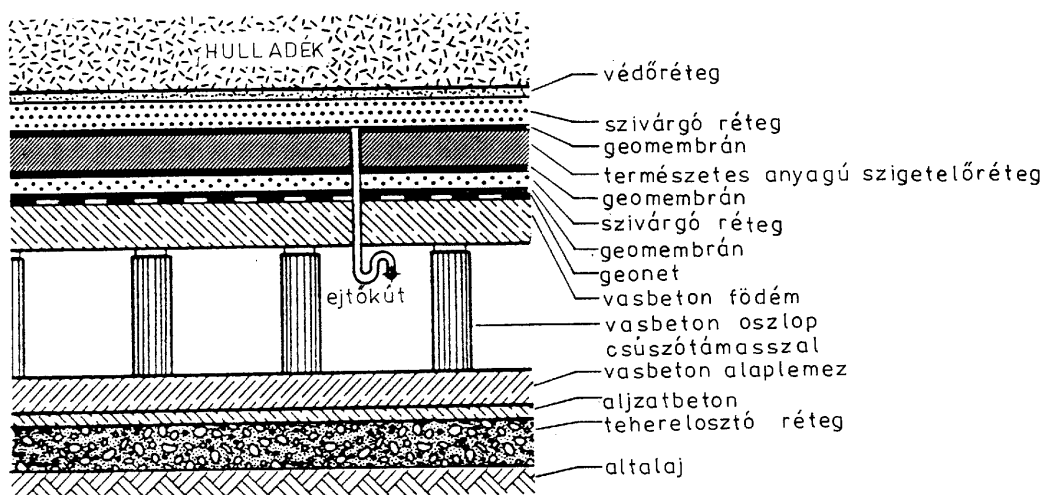


6.98. ábra

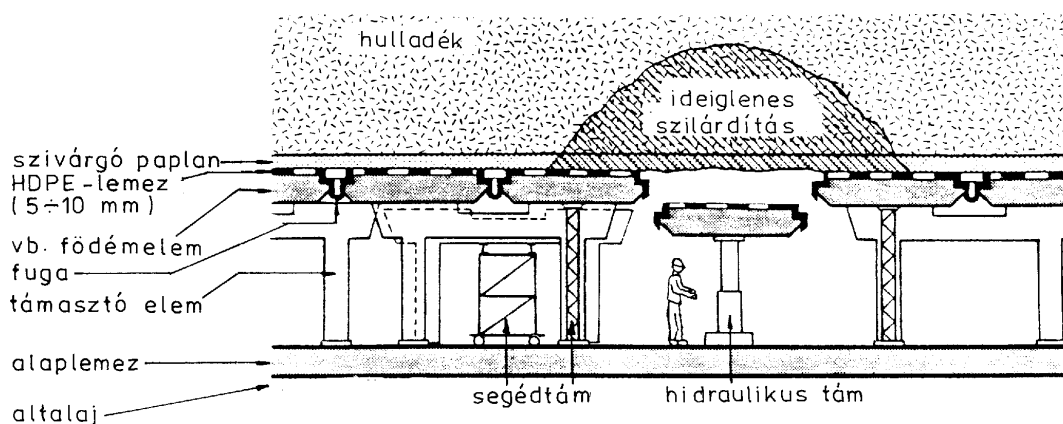
Járható közműalagúttal kombinált aljzatszigetelő rendszer



**6.99 ábra**  
Járható aljzatterű Züblin rendszerű hulladéklerakó  
(Konceptióterv)



**6.100. ábra**  
Az aljzatszigetelés és a teherbíró alépítmény részlete  
(Züblin rendszerű hulladéklerakó)



**6.101. ábra**  
Előregyártott födémelemekkel kombinált aljzatszigetelés és annak javítása

#### 6.4. Tárolószerűen kialakított hulladéklerakók

Mint már azt a hulladéklerakók osztályozásánál említettük, a tárolószerűen kialakított hulladéklerakókról akkor beszélünk, ha a kialakításukkor alkalmazott szerkezeti elemeknek teherbíró funkciójuk is van. Az előző fejezetben megismert járható aljzattérrel rendelkező hulladékdepóniát (6.99. ábra) a fenti megfogalmazás szerint ebbe a kategóriába éppúgy besorolhatnánk, mint a nagybiztonságú hulladékdepóniák közé. Hogy mégis az utóbbi csoportba került, az indokolja, hogy a hulladék lerakása hányószerű, és az ellenőrizhetőség érdekében az aljzat kialakítását oldották meg teherviselő szerkezetként. Láttuk tehát, hogy éles határ nem vonható az egyes kategóriák között, mert a tárolószerűen kialakított lerakóknál is az elsődleges cél a nagy biztonság, hiszen *elsősorban a veszélyes, vagy különösen veszélyes hulladékok lerakására szolgálnak*, s az egy m<sup>3</sup> lerakott hulladékra jutó fajlagos költségük igen nagy. Lehet persze a lerakó megoldása egyszerűbb, olcsóbb, ekkor azonban a hulladék kezelése, előkészítése lesz drágább. Jó példa erre az *aszódi lerakónál az I. veszélyességi osztályba tartozó hulladékok tárolója*, amelynek a metszetét a 6.4. ábrán láthatjuk (HÓDI et al., 1987.). Az anyagi tulajdonságtól függően a hulladékelhelyezés 4 helyen (platón) történik. Egy-egy plató szélessége 45 m, hossza 65-115 m között változik. A platóra egy vasbeton lemez kerül, amelyre a hulladékot tartalmazó hordókat helyezik. A vasbeton lemez alatt homokos kavicszivárgó került megépítésre dréncső kivezetéssel, amely egy megfigyelő aknába van bekötve. Az acélhordós csomagolású, vasbeton tálcára kerülő hordók közötti teret *betonnal töltik ki*, s ugyancsak betonréteg választja el az egyes hordósortokat. A plató megtelte után (6 sor hordó) következik a *lefedés*. A kialakításra vonatkozó adatokat az ábrán találjuk meg.

A korszerűen kialakított tárolódepóniák fő típusai:

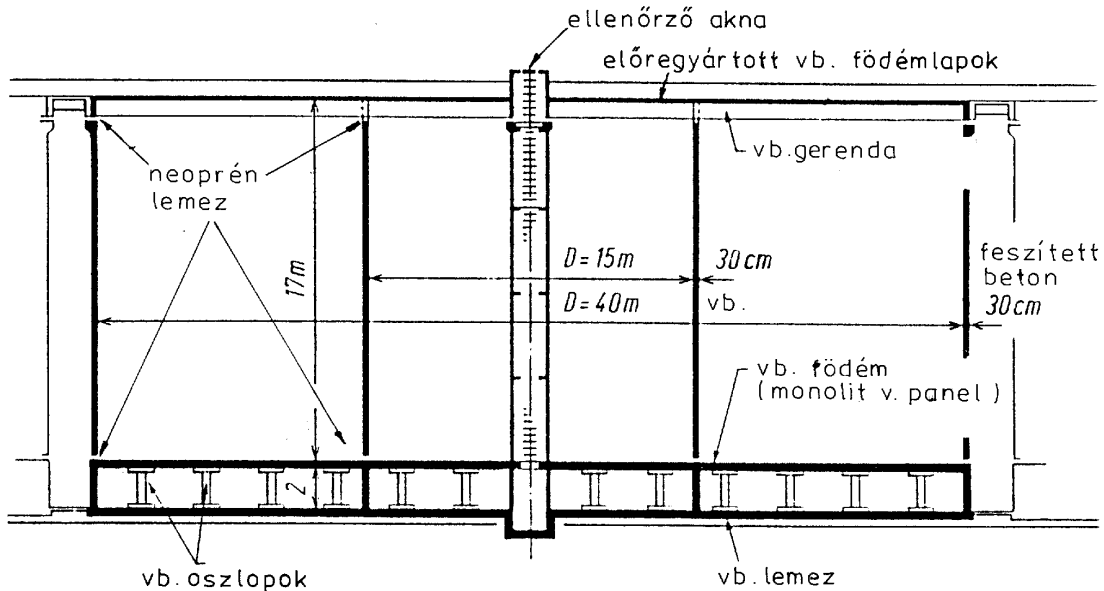
- felszín feletti vasbeton tárolók,
- silódepóniák,
- aknaszerűen kialakított depóniák.

Közös jellemzőjük a hulladékot körbezáró vasbeton szerkezet. Az így kialakított lerakóknál a természeti adottságokkal szembeni elvárások, az önmagukban is nagy biztonságot nyújtó kialakításuk miatt nem olyan szigorúak, mint a hagyományos rendszereknél. A biztonság itt is növelhető a járható, így ellenőrzést biztosító aljzattér kialakítással.

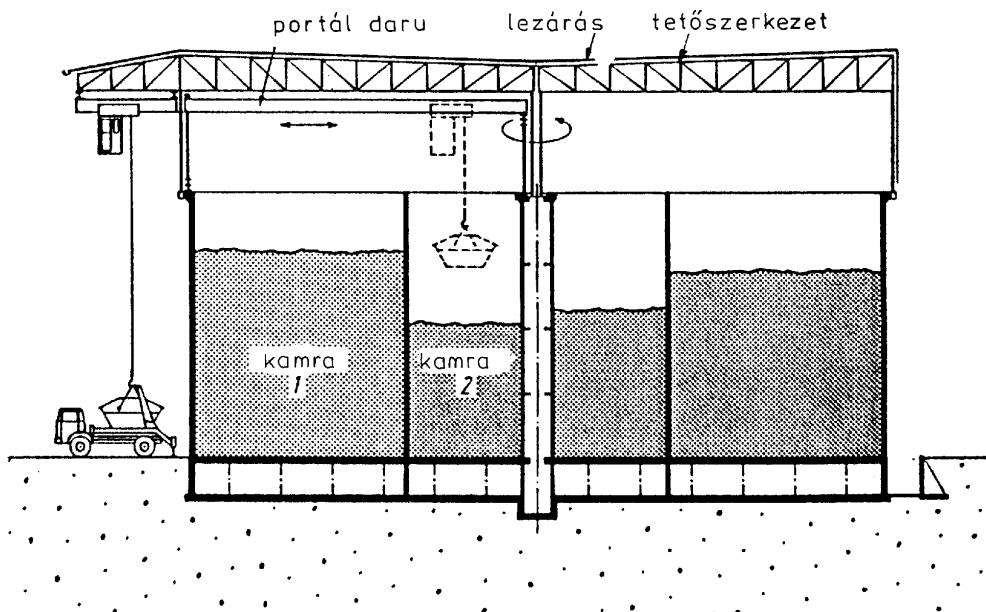
Műszaki szempontból az alapvető problémát a teljes élettartamra vonatkozó *repedésmentes, tömött betonszerkezet*, és azt a kémiai hatásokkal szemben védő *szigetelőréteg* megépítése jelenti. A szerkezet kialakításánál figyelembe kell venni az esetlegesen fellépő *süllyedéskülönbségeket*, valamint a silók, tartályok ismétlődő töltésből-ürítésből adódó terheléseket, ill. terheléskülönbségeket. Mindezek figyelembevételével ma már egyre inkább előterébe kerülnek a feszített beton szerkezetek.

Az elmondottak alapján nyilvánvaló, hogy a tárolószerűen kialakított lerakók relatíve kis hulladékmennyiség elhelyezését teszik lehetővé, ugyanakkor a költségek igen nagyok, s így gazdaságosan elsősorban *átmeneti tárolóként* üzemeltethetők (pl. a hulladékhasznosítás belátható időn belül megvalósul). Ennek megfelelően gondoskodni kell arról, hogy az elhelyezett hulladékok problémamentesen visszanyerhetők legyenek. Természetesen a hulladékelhelyezés elsősorban nem gazdaságossági kérdés, s szükség van tárolószerűen kialakított depóniákra végleges lerakás céljából is. A következőkben néhány lehetséges megoldást nézünk meg.

A 6.102-6.103. ábrák a ZÜBLIN cég által kifejlesztett *silószerű hulladéktároló* koncepció-elvét szemléltetik. A siló anyaga lehet mind vasbeton, mind feszített beton, vagy a kettő kombinációja. A tároló alatt járható aljzattér van. Előnye az egymással nem keverhető hulladékok szeparált elhelyezési lehetősége, s a csapadékvíz elleni egyszerű védelem. A rendszer középpontjában található az *ellenőrző akna*. A tároló elhelyezhető felszín alatt is, ekkor azonban a silófalak ellenőrizhetősége megszűnik.

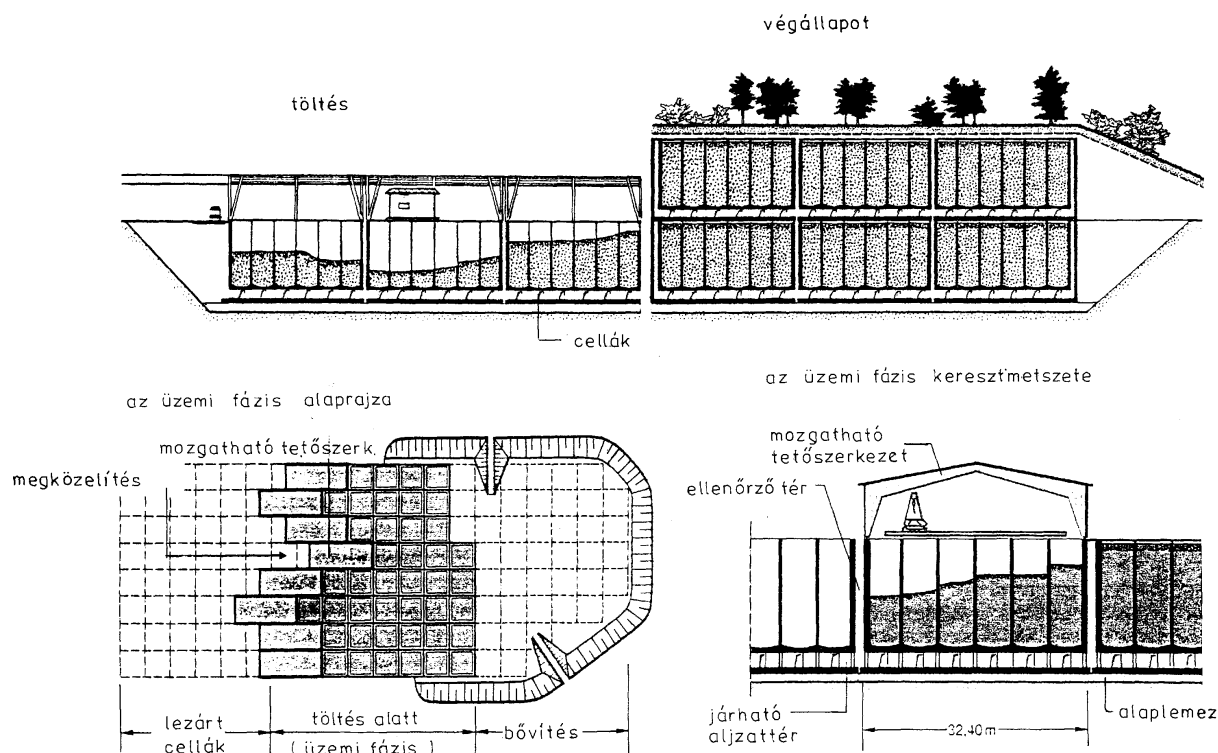


**6.102. ábra**  
A Züblin rendszerű silódepónia vázlata  
(Konceptióterv)



**6.103. ábra**  
A silódepónia feltöltése

Ugyancsak silórendszerű hulladéktárolót mutat be a **6.104. ábra** (WIND, 1987.). A merev silócellák négyzet keresztmetszetűek, kb. 1000 m<sup>2</sup>-ként blokkszerűen közös alaplemezzel összefogottak. Az egyes blokkokat egymástól fugák választják el. Az aljzattér járható, ugyanúgy a silócsoportok közötti tér is, ami a folyamatos ellenőrzés lehetősége szempontjából lényeges. A cellákat töltéskor ideiglenes, mozgatható tetőszerkezet védi, majd a megtelt blokkokat gáz- és vízzáróan lefedik, a felszínt rekultiválják.



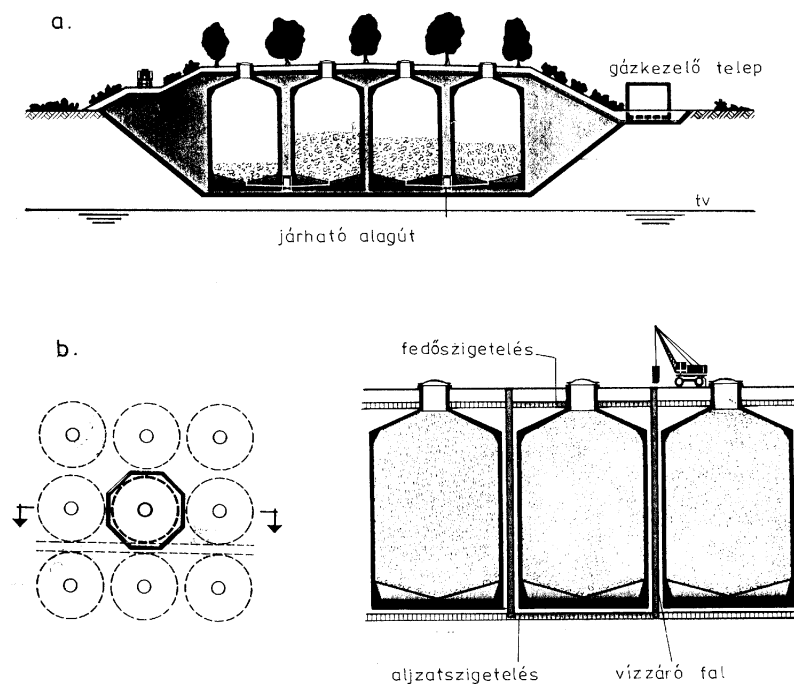
**6.104. ábra**

Négyzet keresztmetszetű silódeponiák veszélyes hulladékok tárolására (WIND, 1987.)

A **6.105. ábra** a HOCHTIEF rendszer palackformájú koncepció-tárolóit mutatja be, amelyek egyenkénti térfogata kb. 5000 m<sup>3</sup> lenne. A rendszert a felszínközeli helyezésével, és a felszínt a töltőnyílások szabadon hagyásával rekultiválják. Előnye a rendszernek a hulladék szeparálhatósága, egyszerű visszanyerése. Az ellenőrzés lehetősége járható alagutak, vagy a teljes aljzattér járhatósága révén biztosított. Amennyiben valamelyik egységénél az üzem közben tömítetlenséget észlelnének, úgy a kialakítás lehetővé teszi egy utólagos vízzáró fallal történő körbezárást is (**6.105.b ábra**).

A **6.5. ábrán** egy megvalósult *aknaszerűen kialakított* tárolót láttunk (Terra Rotonde, WIND, 1987.). A közlekedést lehetővé tevő középső akna, a járható aljzattér és az akna mögötti hátszivárgó gyakorlatilag teljes biztonságot jelent. Elképzelések szerint az ilyen rendszerű tárolók átmérője elérheti a 30-80 métert, a mélysége a 30-100 métert is, a falvastagság 1,2-1,8 m.





6.105. ábra

A Hochtief rendszerű veszélyeshulladék-tároló elvi koncepciója  
**a.** metszet      **b.** tömítetlenség utólagos javítása

### 6.5. Felszín alatti hulladékelhelyezés

Mai megítélés szerint a hulladékelhelyezésnek talán legbiztonságosabb módja a felszín alatti végleges lerakó lehet, azonban ezen a téren még számos bizonytalanságot találunk, s közel sem rendelkezünk annyi gyakorlati tapasztalattal, mint a felszínközeli elhelyezéseknél. A mélyebb rétegekben való hulladékelhelyezés *alapgondolata: meg kell keresni azt a néhány száz méter mélyen lévő, geológiailag alkalmas kőzetkörnyezetet, amely biztosítani tudja, hogy a nagy és tartós potenciális veszélyt jelentő anyagokat megfelelően hosszú időtartamra a biociklustól távol tartsuk.*

A gondolat nagyon szép, azonban számos, igen nehezen megválaszolható probléma vetődik fel, s ebből következik, hogy a felszín alatti hulladékelhelyezésnél nem rendelkezünk általánosan alkalmazható sémákkal, s *minden egyes lerakó kialakítása új, önálló feladatot jelent, s az elbírálás is csak egyedi lehet.* Melyek ezek a nehezen megválaszolható kérdések:

1. Felszín alatti lerakóknál közel sem rendelkezünk olyan feltárási sűrűséggel, mint a felszínközelielknél, ebből következik, hogy a földtani környezet megítélésének a bizonytalansága nagyobb.
2. Mikor alkalmas a földtani környezet? Nem biztos, hogy ismerjük, vagy teljes biztonsággal becsülni tudjuk a létesített lerakó és környezetének kölcsönhatását, a folyamat időbeli lejátszódását.
3. Ismerjük-e annyira a tágabb környezetet olyan pontossággal, hogy biztonsággal állíthassuk, hogy az elhelyezett szennyezőanyagok nem kerülhetnek vissza a bioszférába?

A fenti bizonytalanságokból következik, hogy önmagában a természetes környezet védelme itt is csak különleges esetekben jöhet számításba, s az esetek többségében a megfelelő műszaki védelem (mind a hulladék, mind a környezet oldaláról) elengedhetetlenül szükséges. Annál inkább is szükség van erre, mert egy esetlegesen felmerülő *kárelhárítás, lokalizálás lényegesen nehezebben* - az esetek egy részében egyáltalán nem - és sokkalta nagyobb költséggel oldható meg.

A következőkben a *már megvalósult felszín alatti hulladéklerakók tapasztalatai* alapján tekintjük át azokat az általánosítható megállapításokat, amelyeket egy-egy új felszín alatti hulladéklerakó létesítésekor *irányelveként* követhetünk. A radioaktív hulladék-elhelyezés általános problémáit külön fejezet tárgyalja.

A mai gyakorlat szerint nagyobb mélységű felszín alatti hulladék elhelyezés történhet:

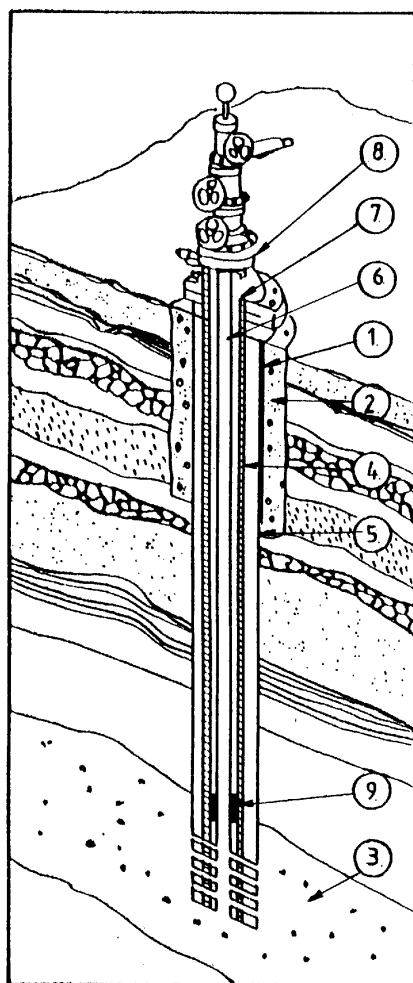
- áteresztő kőzetekbe történő *injektálással*;
- mesterségesen kialakított *kavernák* feltöltésével;
- bányászati módszerrel kialakított *felszín alatti térségekben* (felhagyott-, üzemelő bánya, újonnan létesített lerakó).

*A felszín alatti tárolóterek* - amelyeket az *injektálás* számára igénybe vehetünk - felépülhetnek mind *porózus, mind repedezett kőzetekből*. A porózus kőzetanyagú tárolók hidrodinamikailag jobban áttekinthetők, ellenőrizhetők, mint a szabálytalan, vagy igen nehezen megismerhető repedés/törés hálózattal rendelkező kőzetek. Ebből következik, hogy az injektálásra igénybe vett képződményeknél *előnyben kell részesíteni a porózus kőzetekből felépített tárolórendszereket*. Az injektálódással történő hulladék elhelyezés *alapvető feltétele*, hogy a rendszer *hidraulikailag zárt legyen* (THOME-KOZMIENSKY, 1988.). Hidraulikailag zárt rendszernél a pórusfolyadék nincs kapcsolatban más vízvezető horizontokkal és nem vesz részt a hidrológiai körfolyamatban.

*Hidraulikailag nyílt rendszerek* injektálásra csak akkor vehetők igénybe, ha az injektált hulladék szennyezőanyag koncentrációja a tartózkodási idő alatt (a bioszférába való visszajutás ideje) a megengedett érték alá csökken (hígulás, kémiai-, ill. mikrobiológiai lebomlás, adszorpció). *Németországban* folyékony hulladék injektálására kerül sor a a Werra-, Fulda kálisóterületeken, a Moosburg-üzemnél (Süd-Chemie AG, München). A Hessen tartománybeli Werra kálisóterületen mintegy tíz injektáló kút üzemel (hidraulikailag nyílt rendszer!), kapacitásuk 100-800 m<sup>3</sup>/h, mélységük 325-525 m közötti. Fuldatól keletre lemezes szerkezetű dolomitban még kb. 500 millió m<sup>3</sup>-nyi térfogat áll rendelkezésre. Vizsgálatok bizonyították, hogy a napi 12750 Mg/d bejuttatott kloridnak mintegy 1,5%-a a környező forrásokban és kutakban megjelenik (FINKENWIRTH, 1980.).

Az USA-ban 1980-ban 25 szövetségi államban 383 injektáló kút működött, s az évente besajtott folyékony hulladék mennyisége 42, 1983-ban pedig 50 millió m<sup>3</sup> volt.

Az Amerikai Környezetvédelmi Hivatal (USEPA) szigorú feltételeket szabott az injektáló kutak tervezésére. Minden kutat *cementbe ágyazott hármás béléscsővel* kell ellátni. A kutak csak földrengésmentes területen mélyíthetők, az igénybe vett rétegre más kutat (pl. olaj) telepíteni tilos. Egy, az előírásoknak megfelelő kútkiképzést mutat a **6.106. ábra**.



1. acél béléscső
2. cementezés
3. injektálandó zóna
4. acél béléscső
5. cementezés
6. injektáló cső
7. nem-korrozív folyadékkal töltött gyűrűstér
8. kútfaj
9. gyűrűstér lezárása

6.106. ábra

A hulladék injektálására használt kutak kialakítása

A néhány ismertté vált baleset (OBERMAN et al., 1991.):

- az injektált folyadék visszajutása a bioszférába (Offleben; Vacha-Berka (Németország));
- az injektálási munkálatok által kiváltott földrengés (Denver/USA);
- az injektált folyadék és a tároló közötti reakció (Wilmington/USA);
- a rétegvíz felmelegedése az injektálás hatására (Long Island/USA).

A fenti balesetek rámutatnak a nyílt rendszerben történő injektálás veszélyességére, illetve a megvalósítás különös gondosságára. Hazánk földtani felépítéséből adódóan az injektálással történő hulladékelhelyezés nem kívánatos.

A *kavernában* történő elhelyezésre elsősorban a kősóterületekről ismerünk példát. A kavernák kialakítása történhet felszínről a sóréteg kioldásával, vagy bányászati módszerekkel. A kioldással kialakított kavernák mérete: átmérő 30-50 m, magasság 150-250 m, s így max. 200 ezer m<sup>3</sup> nagyságú üregek alakíthatók ki, amelyeket az állékonyság biztosítása miatt 5 éven belül meg kell tölteni. A bányászati módszerrel kialakított kamrák kisebb magasságúak (20-25 m), azonban nagyobb alapterületűek (STORK, 1987.).

A kioldással kialakított kavernában történő hulladékelhelyezés feltételei és jellemzői (THOME-KOZMIENSKI, 1988.):

- a tárolandó hulladék nem léphet reakcióba a környező sóréteggel;
- folyékony és iszapszerű hulladék csak utólagos in situ szilárdítással helyezhető el;
- az elhelyezett hulladék többé nem nyerhető vissza;
- a rendszer utólag nem ellenőrizhető;
- a rendszer hibahelyei utólag nem javíthatók.

A kősó bányászata után visszamaradt kamrákban történő elhelyezés jellemzői és feltételei:

- folyékony- és szilárd hulladékok mind átmeneti, mind végleges lerakására alkalmas;
- az átmenetileg tárolt szilárd hulladékok lerakása a visszanyerhetőség érdekében tárolóedényekben történjen;
- végleges lerakásra csak szilárd hulladékok kerüljenek, lehetőleg hidraulikusan szilárdítva;
- a csomagolt és véglegesen lerakott hulladékoknál a fennmaradó teret hézagmentesen ki kell tölteni (pl. pernyebetonnal).

A felhagyott vagy működő *bányatérsegekben* kialakított hulladéklerakókra mindazok igazak, amit eddig elmondtunk. A meglévő bányatérsegeknél a legnagyobb probléma, s Magyarországon ez különösen igaz, hogy általában *hidraulikailag nyílt rendszerek*. Ezen a területen még kevés tapasztalattal rendelkezünk. A mélyebb rétegekben bányászati módszerekkel kialakított térsegekben lerakott hulladék zöme radioaktív hulladék (lásd köv. fejezetben). Amennyiben a hulladék felhagyott bányatérsegekbe kerül és a *víztelenítési munkákat befejezik*, a kősókavernákban történő elhelyezés hátrányaként felsoroltak itt is elmondhatók. Éppen ezért első lépésben azon *hulladékok körét kell meghatározni, amelyek lerakása nem megengedett*. Magyarországon ilyen katalógus jelenleg egyáltalán nem létezik. Pl. Észak-Rajna Westfália tartományban 1987-ben a kőszénbányákban történő hulladékelhelyezés szabályozásánál lerakásra alkalmatlannak minősítették a következő tulajdonságokkal rendelkező hulladékokat (OBERMAN, 1991.):

- Növényi és állati eredetű hulladékok, valamint a kikészítőipar termékeinek hulladékai, amelyek
  - = biológiailag lebomlóak,
  - = éghetők,
  - = vízben oldhatók,
  - = víznél kisebb sűrűségűek.
- Kémiai átalakulások hulladékai, amelyek
  - = részben vagy teljesen oldhatók,
  - = toxikusak,
  - = reaktívak,
  - = szervesek,
  - = víznél kisebb sűrűségűek,
  - = éghetők,
  - = folyékonyak.
- Radioaktív hulladékok.

- Kommunális hulladékok, amelyek:
  - = szervesek,
  - = biológiailag lebomlóak,
  - = éghetők,
  - = könnyen oldhatók,
  - = fertőzőek,
  - = folyékonyak.

*A bányatérsgben lévő elhelyezés speciális követelményei:*

1. *A nyersanyag védelme:* A hulladék elhelyezésnek úgy kell történnie, hogy a lerakással párhuzamosan folyó vagy a jövőben meginduló *nyersanyagtermelést* nem nehezítheti, ill. nem akadályozhatja meg.
2. *Az üzem védelme:* ha a hulladéklerakás a még működő bányában történik, úgy a prioritás a bányászati termelésé. A bányászat megszűnte után a bányatérsggek biztonságos fenntartásáról gondoskodni kell, és a hulladéklerakó kialakítása, elhelyezése egy esetlegesen bekövetkező balesetnél nem akadályozhatja az optimális mentési, biztosítási és helyreállítási munkálatokat.

*Összefoglalásként* a bányabeli térsggekben történő hulladék elhelyezésnél a következő alapelvek betartása szükséges:

- a hulladék legyen immisszióneutrális,
- a folyékony hulladékok tárolása csak átmeneti legyen,
- erősen toxikus, szilárd hulladékok végleges elhelyezéskor lehetőleg tárolótartályokba kerüljenek,
- gyengén toxikus, szilárd hulladékok utólagos, in situ szilárdítással kerüljenek elhelyezésre,
- a hulladék és a bányatérsg közötti teret ki kell tölteni,
- a kitöltött bányatér állékonysága biztosított legyen,
- a megtelt bányatérsggek utólag kerüljenek lezárásra,
- a többszörös védelem elve érvényesüljön.

### **6.6. A radioaktív hulladékok kezelése és elhelyezése**

A radioaktív hulladékok *átmeneti tárolásakor* és *végleges elhelyezésékor* az elsődleges fontosságú feladat a hulladékkal foglalkozó dolgozók és a lakosság sugárvédelme, mivel a jelenben és a jövőben is a sugárzás esetleges káros hatásaitól meg kell óvni a bioszférát, és benne az embert is.

Ma már szakmai körökben teljes az egyetértés - még akkor is, ha ezt bizonyos műszaki körök és különösen a lakosság nem mindig fogadja el -, hogy a kis- és közepes aktivitású hulladékok elhelyezése műszaki és tudományos szempontból a tökéletesen megoldható problémák közé tartozik. Ma már a világon nemcsak üzemelő tárolók léteznek, de bezárt telephelyek is.

A hulladék elhelyezéssel kapcsolatos - elsősorban politikai indíttatású - viták a fejlett országokban nem a kis- és közepes aktivitású hulladékokkal kapcsolatosak, hanem a hosszú élettartamú, nagyaktivitású hulladékok 100 000 - 1 millió évre prognosztizált viselkedésének megítélése körül folynak (ORMAI, 1995.).

### **6.6.1. A radioaktív hulladékok kezelése**

A hasadó anyagok, és radioaktív izotópok felhasználása során keletkezett radioaktív hulladékokat részben a felhasználás helyén, részben a végleges tárolás helyén (az ún. izotóptemetőkben) kezelni kell. E kezelések célja a lehető legkisebb térfogattal rendelkező szilárd halmazállapotú radioaktív hulladék előállítása, a végleges elhelyezés gazdaságossága szempontjából ugyanis ez a két szempont a meghatározó tényező (VIRÁGH, 1991.).

A szilárd radioaktív hulladékok átlagosan 90%-ban éghető anyagokból állnak. Ezeknél a hulladékoknál térfogatcsökkentési eljárást célszerű alkalmazni.

Egyik lehetőség a szilárd hulladékok összesajtolása. Több száz bar nyomás alkalmazásával bálázzák a szilárd hulladékokat, és az így nyert csomagokat helyezik el az izotóptemetőkben. A másik gyakran alkalmazott térfogatcsökkentő eljárás az égetés. Ennek során égetőberendezések segítségével nagyságrenddel lehet *csökkenteni a hulladékok térfogatát*.

A szilárd hulladékokkal kapcsolatban kell megemlíteni a *biológiai radioaktív hulladékokat*. Számos kutatóintézetben végeznek olyan állatkísérleteket, amelyek során izotópokkal szennyezett radioaktív állati tetemek keletkeznek. A tetemeket nem lehet elszállítani dögtemetőbe, hanem azokat radioaktív hulladékként kell kezelni. Az egyik alkalmazott eljárás lényege az, hogy a tetemeket formalinban, rozsdamentes edényekben tárolják, illetve valamilyen kötőanyaggal szilárdítják. A másik lehetőség a radioaktívanyag-tartalmú tetemek elégetése.

A radioaktív hulladékok kezelésének legváltozatosabb formái a *folyékony radioaktív hulladékok* kezelési eljárásai között találhatók. Általánosan megállapítható, hogy a végső cél a szilárd halmazállapot elérése, másszóval, az aktív vízből a radioaktív összetevő eltávolítása. Ezután a dezaktivált folyadék már szokványos szennyvízként kezelhető.

Legegyszerűbb és régen használatos eljárás a *szilárdítás*. Ilyen esetben a radioaktív szennyvizet különböző minőségű cement hozzáadásával kötik meg. Gyakran alkalmaznak erre az eljárásra bitument is. Az USA-ban kifejlesztett módszer szerint a radioaktív szennyvizet montmorillonittal keverik össze, és magas hőmérsékleten kerámiává égetik. A kerámiává égetési eljárások hátrányaként említhető, hogy a  $^{137}\text{Cs}$  és a  $^{106}\text{Ru}$  izotópok könnyen megszöknek, elillannak. A szilárdítás során keletkezett tömböket izotóptemetőkben tárolják.

Gyakori térfogatcsökkentő eljárás a bepárlás, amelyet nagyméretű zárt tartályokban végeznek. A bepárlás maradványait szilárdítják, vagy közvetlenül a föld alatt kialakított tárolótartályokba vezetik.

Széles körben alkalmazzák radioaktív szennyvizet tisztítására a különböző *kémiai módszereket* is.

Jó hatásfokú, bár kissé drága eljárás a dezaktiválásra az *ioncserélők* használata. Kation-, ill. anioncserélő, vagy ún. kevert-ágyas ioncserélő oszlopsorokat alkalmazva igen jó hatásfokú dekontaminálás érhető el. Az elhasználadott ioncserélőket vagy regenerálják és a regenerálás során adódó aktív anyagokat szilárdítják, vagy magát az ioncserélőt helyezik az izotóptemetőbe. Ezt mindig az alkalmazott módszer gazdaságossága határozza meg.

Ritkábban alkalmazott módszer radioaktív folyékony hulladékok mentesítésére az *elektrokémiai lecsapás* vagy *elektrodialízis*.

A *folyékony radioaktív hulladékok* kezelésére kialakított korszerű berendezésekben általában *komplex módszert* alkalmaznak.

A *gázhalmazállapotú hulladékok* kezelésére gyakorlatilag mindig a keletkezés helyén kerül sor. Ez azt jelenti, hogy a légnemű radioaktív anyagok tulajdonságainak figyelembevételével megfelelő szűrési eljárásokat alkalmaznak.

### 6.6.2. A radioaktív hulladékok elhelyezésének általános kérdései

A radioaktív hulladékok *átmeneti (közbenső) tárolása* fontos lépés a hulladékgyűjtés, kezelés, kondicionálás, csomagolás, szállítás és végleges elhelyezés egymást követő fázisaival definiált hulladékkezelési és elhelyezési folyamatban.

*Kondicionálatlan* - azaz nem a végleges elhelyezés követelményének megfelelő formájú - hulladékok esetében ez a következő előnyöket nyújthatja:

- Abban az esetben, ha a hulladék radioaktív komponensének felezési ideje kellően rövid, akkor az ún. "lecsengetés" (a radioaktivitás gyakorlati megszűnését kiváró) tárolás módot adhat arra, hogy a hatóság által a radioaktív hulladékká nyilvánítás alsó határértékét el nem érő koncentrációjú hulladékokat közösen inaktív hulladékként kezelhessék.
- Hosszú élettartamú radioizotópokat tartalmazó hulladékok esetében az átmeneti tárolással a későbbi kezelhetőséget teszik egyszerűbbé és biztonságosabbá, mivel a tárolási, ill. egyben a hűlési idő alatt jelentősen csökken az aktivitás és ezzel együtt a bomlási hőfejlődés.
- A kondicionálás, majd pedig a végleges elhelyezés hatékonyan, jól tervezhető módon végezhető, ha megfelelő átmeneti (puffer) tárolási kapacitások állnak rendelkezésre.

*Kondicionált formájú radioaktív hulladékok átmeneti tárolására* akkor kerül sor, amikor a végleges elhelyezés feltételei nem biztosítottak, vagy ha a hulladék végleges elhelyezésére vonatkozó feltételek teljesüléséhez még további pihentetésre van szükség (pl. a hőfejlődés csökkenéséhez).

A radioaktív hulladékok *végleges elhelyezésének* célja a hulladékok aktivitástartalmának elszigetelése a bioszférától, egészen addig az időpontig, amíg azok - a természetes bomlás eredményeképpen - már nem képviselnek elfogadhatatlan mértékű kockázatot az élő szervezetekre (ORMAI, 1995.).

A fenti célmeghatározás két igen lényeges elemből épül fel:

- a környezettől való elszigetelés és
- az elfogadható mértékű kockázat.

#### 6.6.2.1. A környezettől való elszigetelés

A radioaktív hulladékok *környezettől való elszigetelésénél* még fokozottabban kell érvényesülnie a *többszörös biztonság elvének*. A többszörös védelem a Nemzetközi Atomerengia Ügynökség ajánlásai szerint (IAEA, 1982.) három, az izolációra nézve fontos komponens figyelembevételét igényli. Ezek:

- *a hulladék formája* (az aktivitástartalom fizikai és kémiai formája, az aktivitást körülvevő, esetleges beágyazó hordozóanyagok és a csomagolás, ideértve a hulladékkal együtt elhelyezésre kerülő, a sugárvédelmet biztosító komponenseket is);
- *az elhelyezett hulladékcsomagok ember által kialakított környezete* (térkitöltés, falak, vízelvezetés, additív geokémiai és vízszigetelő korlátok, földtakarás, eltömedékelés); és
- *a geológiai környezet*, ami az aktív izotópok lehetséges terjedési útvonalán azok bioszféráig hatolásának időtartamát növeli.

A többszörös biztonság minimális követelményeit szemlélteti a **6.107.** és a **6.108. ábra** (PATVAROS, 1995.; CHAPMAN et al., 1994.). A **6.107. ábra** a hazai és nemzetközi szakirodalmi források ajánlásai alapján a kis- és közepes sugárzási erősségű radioaktív hulladékok földkéregbeli elhelyezésével kapcsolatos többlépcsős biztonsági korlátrendszer, a **6.108. ábra** pedig a nagy sugárzási erősségű radioaktív hulladékok földkéregbeli elhelyezésével kapcsolatos még szigorúbb biztonsági korlátrendszer felépítését szemlélteti. Az ábrák bal oldalán a többszörös biztonságot felépítő objektumok (elemek), míg jobb oldalán az azok által kifejthető védő és korlátozó hatások szerepelnek.

Mint az ábrákon látható, a védelmi rendszer itt is alapvetően két alrendszerből épül fel:

- a műszaki védelemből és
- a természetes védelemből.

*A műszaki védelem* elemei:

- *az immobilizáció*: a radioaktív hulladék beágyazása vagy beolvasztása, rögzítése olyan szilárd anyagba, amelyből nehezen lúgozható ki;
- *a tartályba helyezés*: az immobilizált anyag korrózióálló edénybe, tartályba való helyezése;
- *az izoláció*: a tartályba helyezett, immobilizált anyag elzárása (izolálása) a természetes környezettől.

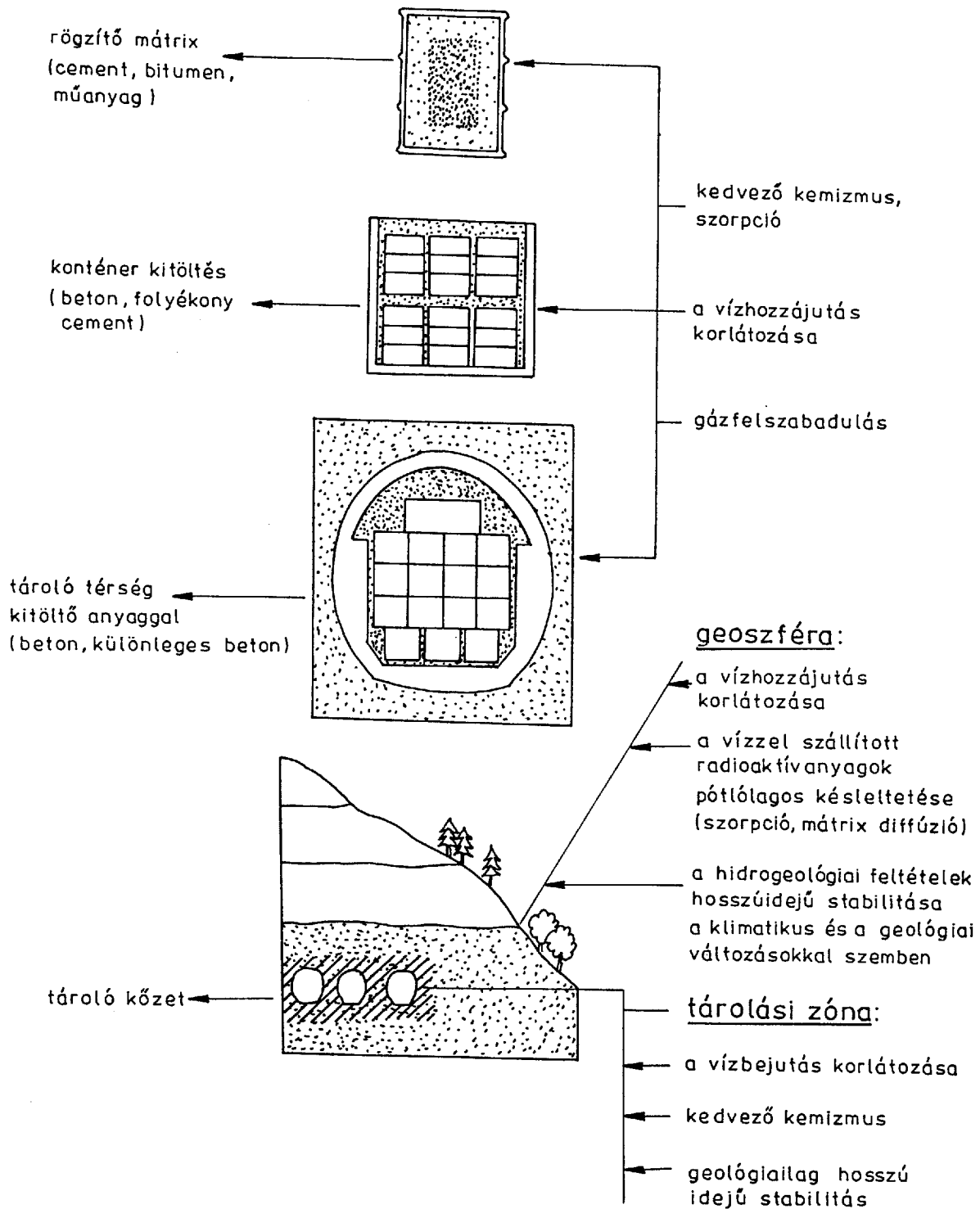
A műszaki védelemnek további *kiegészítő elemei* is lehetnek, mint pl. egy bányatérségben, felszín alatti vágatban történő elhelyezésnél gátak beépítése, amely a felszín alatti vizek távoltartását a megkívánt ideig biztosítani tudja.

*A radioaktív hulladékok rögzítésére* használt anyagok a következők lehetnek (HERMANN, 1983.):

- *bitumen, cement*, ami kis-, ill. közepes aktivitású hulladékok esetén jöhet számításba. Normál hőmérsékleten és nyomáson a keveréket megfelelő tartályba helyezve végleges lerakásra alkalmas. Kísérletek történtek cementtel kevert hulladékpépnek kőszékárnába való bejuttatására, ami a bejuttatás után a meglévő repedéseket is lezárva megszilárdul.
- *üvegbe ágyazás*, aminek előnye a viszonylag egyszerű technika. Az üvegbe ágyazott hulladéknak 25 MPa nyomáson és 200 C° hőmérsékleten is gyakorlatilag oldhatatlannak kellene lennie, amit a laboratóriumi kísérletek nem minden esetben igazoltak. Mindezek ellenére a nagy aktivitású fűtőelemek feldolgozása során keletkező hulladékok megszilárdítására eddig az üvegbe ágyazás adta a legkedvezőbb eredményeket.

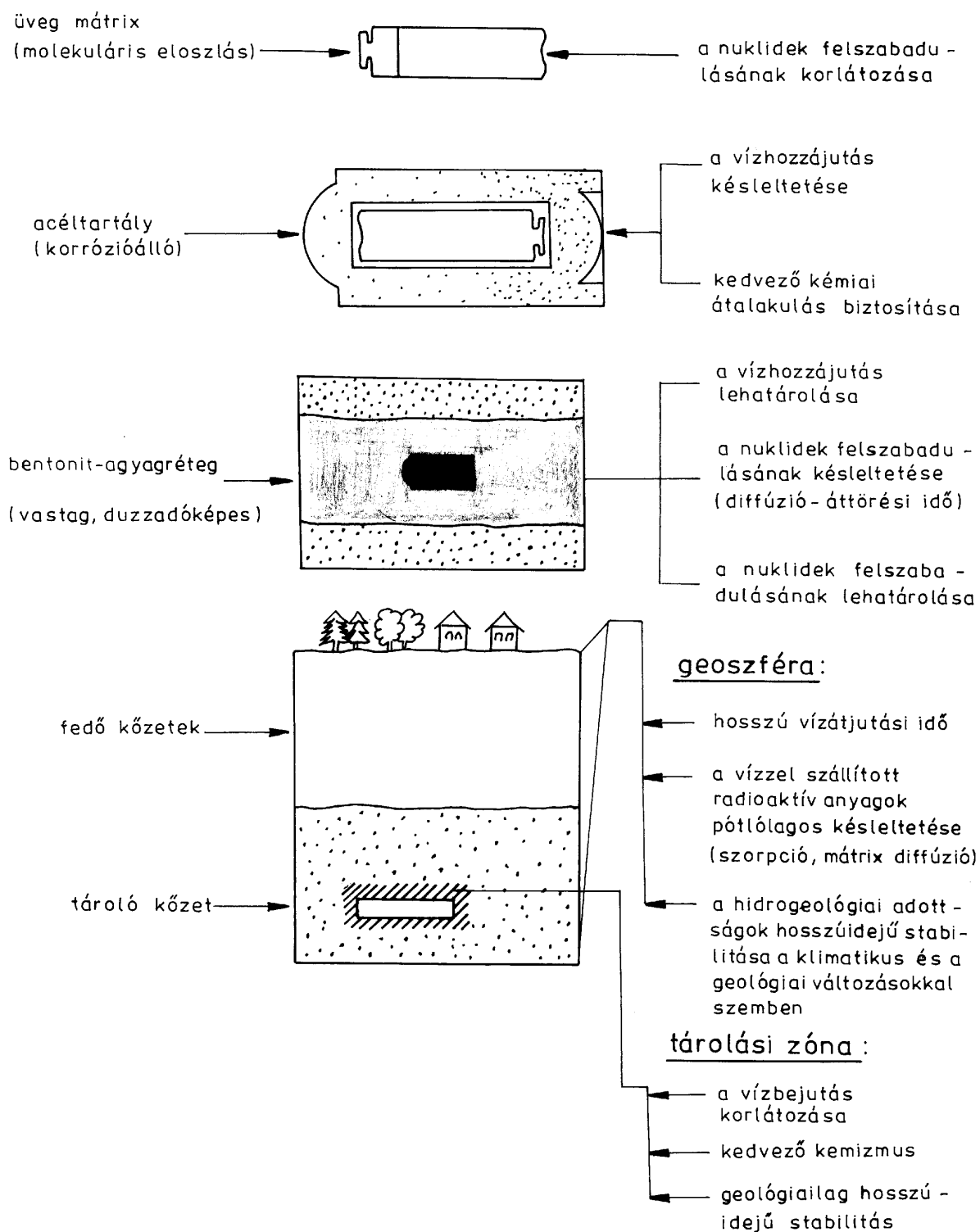
Az eddig alkalmazott technológiák szerint a valamilyen módon előkezelt hulladékot összekeverik üvegpépítő anyagokkal, a keveréket megfelelő hőmérsékletre felhevítve megolvasszják és a folyékony üveget a tárolóedénybe töltik, ahol az megszilárdul.





6.107. ábra

Biztonsági korlátrendszer a kis és közepes sugárzási erősségű radioaktív hulladékok földkéregbeli elhelyezésénél (PATVAROS, 1995.; CHAPMAN - KINLEY, 1994.)



6.108. ábra

Biztonsági korlárendszer a nagy sugárzási erősségű radioaktív hulladékok földkéregbeli elhelyezésénél  
(PATVAROS, 1995.; CHAPMAN - KINLEY, 1994.)

Az egyes eljárások a következőkben térhetnek el egymástól:

- az üvegképző anyag megválasztásában (A radioaktív hulladékok egyes komponensei nem azonos mértékben kötődnek a különböző üvegféleségekhez);
- a hulladék előkezelésének a módjában;
- az olvasztási hőmérséklet megválasztásában, ami igen tág határok, 830-1530°C között változik.

A fenti két, általánosan használt módszer mellett kísérleti stádiumban van a mesterséges kőzetek előállításán alapuló

- szuperkalcinált kerámia eljárás és a
- synroc eljárás (synthetic rock).

A *radioaktív hulladékok tárolására* alkalmas *tartályok* anyagának kiválasztásánál alapvető szempont, hogy az az elhelyezés környezetében *korrózióálló legyen*. Számos változat ismert, pl. Németországban az Asse II sóbányában történő elhelyezésnél ötvözött acél hordókat használtak a kis- és közepes aktivitású hulladékok tárolására. A kísérletek kimutatták, hogy koncentrált sóoldatok az acélötvözeteket megtámadhatják. Amerikai és svédországi kísérletek azt mutatták, hogy az ólom, valamint a nikkell, titán, nióbbium, tantál és cirkonium ötvözetek 250°C-ig a sóoldatokkal és a tengervízzel szemben is ellenállóak. A megfelelően korrózióálló tartály kiválasztása mindig függvénye a helyi körülményeknek, a rendelkezésre álló anyagoknak és a gazdaságosságnak.

Az *izoláció célja* a tartályban lerakott hulladék és a lerakótér között üresen maradó térfogat kitöltése a további védelem biztosítása érdekében, megakadályozandó a víz és oldatok káros hatásait. Izoláló anyagként ismert: a bentonit, az örölt szerpentinit, márga, porított MgO és a bentonit-kvarc keverék alkalmazása.

A *megfelelő izoláló anyag* kiválasztásának fő szempontja: rendelkezzen megfelelő szorpciós tulajdonsággal a radionuklid mobilizálódásának késleltetésére, de ugyanakkor legyen ellenálló a lerakóhelyen előforduló víz vagy oldatok kémiai hatásaival szemben.

A *természetes védelem*, hasonlóan a kommunális- és veszélyeshulladék-lerakóknál tapasztaltakkal, több egymástól többnyire nem független elemből épül fel. A megkívánt biztonságot nyújtó természetes védelem megtalálásának alapvető követelménye a *megfelelő helyszín kiválasztása*.

A *Nemzetközi Atomenergia Ügynökség ajánlása* szerint (IAEA, 1977.) a felszín alatti radioaktív-hulladék-lerakók helykiválasztásánál a következő szempontokat kell vizsgálni és mérlegelni:

1) *Topográfia*.

2) *Tektonika és szeizmicitás*.

3) *Felszín alatti jellemzők*:

- a lerakási zóna mélysége,
- a formáció szerkezete; vastagság és kiterjedés, állapotjellemzők, változékonyság, homogenitás, porozitás,

- az alatta és felette fekvő, valamint a szomszédos kőzetek kiterjedése és tulajdonságai.

4) *Földtani szerkezet:*

- a dőlés,
- a vetők és
- a diapírek.

5) *A befogadó (anya) kőzet fizikai és kémiai tulajdonságai:*

- permeabilitás, porozitás, oldhatóság és diszperzió,
- a gáz és folyadék tartalom,
- a kőzet mechanikai viselkedése,
- a regionális és lokális termikus gradiens,
- a termomechanikai és termohidraulikai folyamatok,
- a hővezetőképesség,
- a szorpciós kapacitás,
- a víz ásványianyag-tartalma,
- a sugárhatások.

6) *Hidrológia és hidrogeológia:*

- a felszíni vizek: előfordulása, formája, mennyisége,
- a felszín alatti vizek: előfordulása, mennyisége, kémiai összetevői.

7) *Jövőben lehetséges változások:*

- a hidrogeológiai változások,
- az emelkedés és süllyedés,
- a szeizmikus változások,
- az intrúziók és vetődések,
- az éghajlati változások.

8) *Általános geológiai és mérnöki jellemzők:*

- a lerakó területe és a lerakási zóna,
- a meglévő fúrólukák és felszín alatti térségek,
- a robbantólukák, aknák, alagutak és üregek,
- a meddő elhelyezése,
- a hulladék szállítása,
- a lerakó mérnöki megoldása,
- a lerakó biztonsága és stabilitása.

9) *Társadalmi szempontok:*

- az erőforrások és eszközök,
- a terület értéke és hasznosítása,
- a népsűrűség,
- a jogi viszonyok,
- a szolgáltatások,

- az egyéb környezeti hatások,
- a társadalmi viszonyok.

Nyilvánvaló, hogy a fenti lista csak egy általános ajánlás lehet, és minden egyes területnek, elhelyezésnek megvannak a specifikus problémái is, amiket egyedileg kell vizsgálni.

A helyszín kiválasztásának egyik legfontosabb eleme a megfelelő *befogadó kőzet*, amelynek a jellemzői, elsősorban a termomechanikai, meghatározzák a lerakó felépítését. A következőkben áttekintjük a radioaktív hulladékok elhelyezésénél elsősorban számításba jöhető és a nemzetközi gyakorlatban leginkább preferált kőzettípusokat. Az eltérő kőzetek ellenére is a lerakók többnyire két kategóriába sorolhatók: *alagútrendszerben* ill. *fűrőlyukrendszerben* kialakított. Természetesen a végső kialakítás módja, megoldása igen változatos lehet.

### **Sókőzetekben kialakított lerakó**

A sókőzetek általában potenciálisan kedvezőek, mert jó a vízzáróságuk és mentesek a szabadon áramló felszín alatti víztől, relatíve nagy a hővezető képességük és kicsi a porozitásuk. Más tulajdonságokat is figyelembe kell venni, mint például a plasztikus folyást, és a közbenső rétegek hatását is (agyag vagy anhidrit).

Több országban is vannak sókőzetben létesített hulladéklerakók: Dániában, Franciaországban, Németországban, Hollandiában, Spanyolországban, USA-ban és a volt Szovjetunió területén. A sókőzetbe a hőfejlődéssel járó radioaktív hulladékokat érdemes elhelyezni.

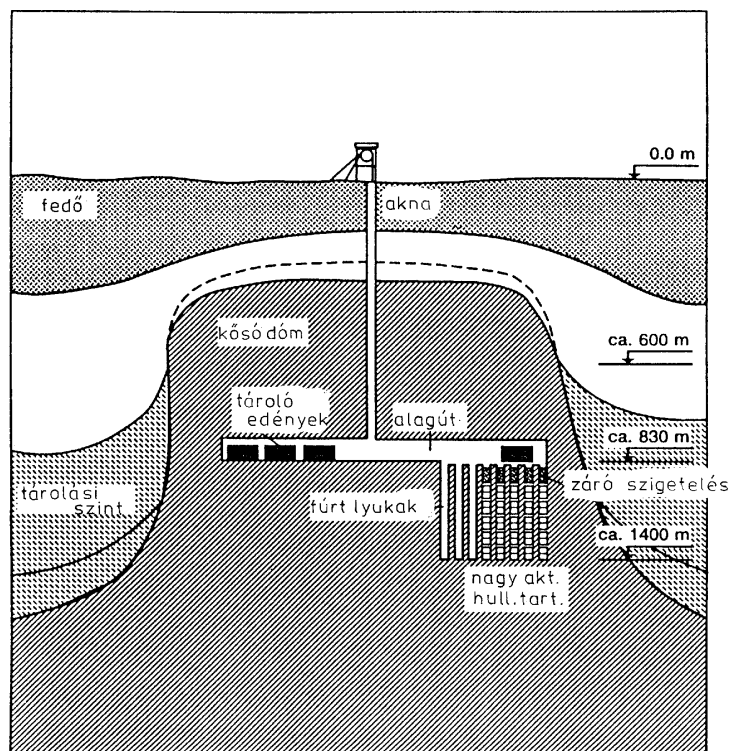
A sókőzetekben történő elhelyezésnek a **6.109. ábrán** feltüntetett két egymástól eltérő módját vizsgálják. Az egyik lehetőség a tároló hordók, konténerek alagutakban történő elhelyezése és a köztes tér (a konténerek közötti, valamint a konténerek és az alagút falazat közötti) kitöltése sózúzalékkal. Alternatív megoldásként a kisebb méretű tárolóedényeket elhelyezhetik az alagútból indított fűrőlyukakban is, amelyeknek a mélysége a 300 métert is elérheti. Feltöltés során a legfelső 10 m csak sózúzalékból áll. Mindkét módszernél a sózúzalék idővel tömörödni fog, és a szigetelőképesége nő. A felszín alatti tér megtelte, feltöltése után az aknát is fel kell tölteni (ROTHFUCHS et al., 1991.).

A sókőzetekben történő hulladék elhelyezés másik módja a felszínről fűrt mély fűrőlyukak segítségével, *kioldással kialakított kavernában* történő lerakás. A módszer a volt Szovjetunióban, ill. Németországban terjedt el (**6.7. ábra**). A megtelt kaverna végső lezárásának elvét a **6.110. ábra** szemlélteti.

### **Szilárd kőzetekben kialakított lerakó**

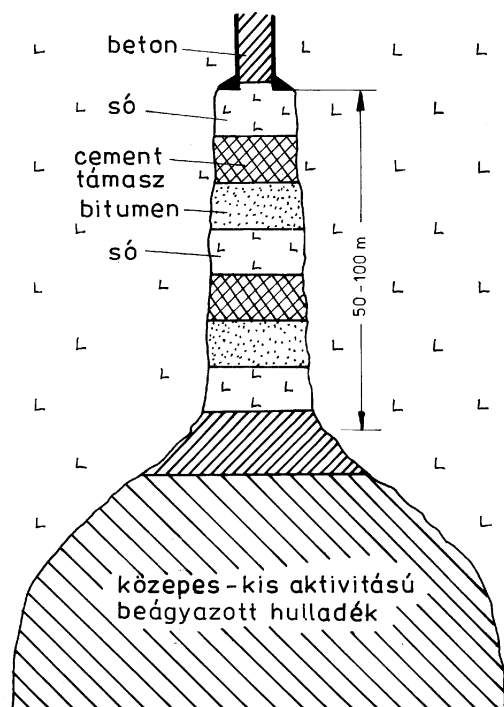
A szilárd kőzetek két tulajdonsága döntően befolyásolja a lerakó kialakítását: a *nagy szilárdság* ugyanis jelentős flexibilitást enged meg a felszín alatti térségek kialakítása során, a kőzet *repedezettsége* pedig elsősorban a permeabilitás, a felszín alatti vízáramlás szempontjából lényeges.

A szilárd kőzetekben kialakított lerakók koncepciója többnyire azonos: a rendszer függőleges aknákból, párhuzamos alagutakból és az alagutak aljából indított függőleges lyukakból áll. A rendszer teljes kiépültekor általában többszintes.



6.109. ábra

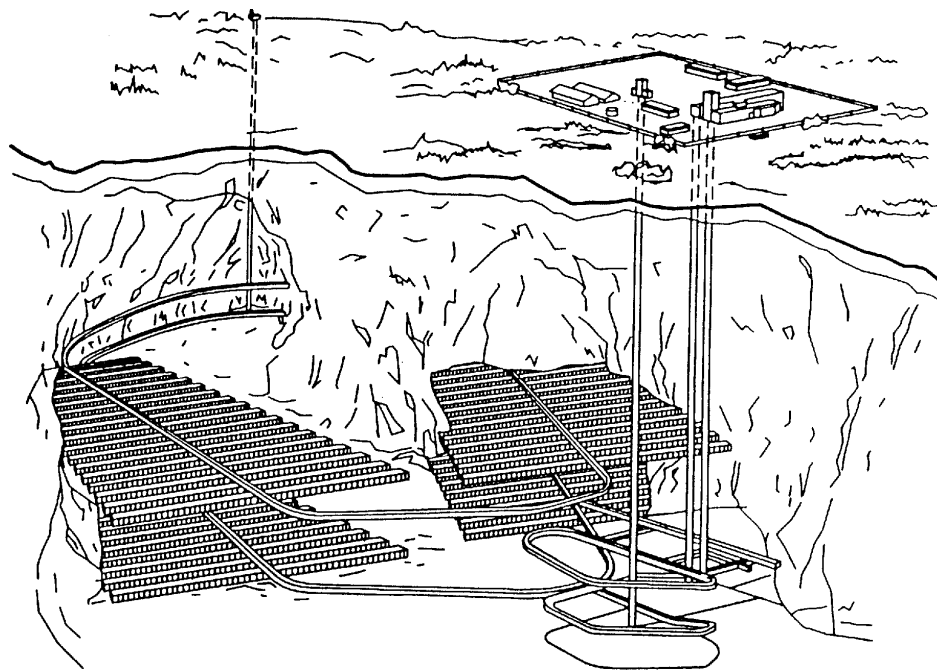
Sóközetben kialakítandó lerakók koncepciója Németországban (IAEA, 1992.)



6.110. ábra

A megtelt kavna végső lezárása (QUAST et al., 1986.)

A **6.111. ábrán** a Svédországi *KBS-3 rendszer* látható, amelynél az alagutakból fúrt rövid lyukakba helyezik el a hulladékkal töltött tárolóedényt (**6.112. ábra**), majd a lyukakat bentonittal vagy bentonit-homok keverékkel töltik fel. Végző állapotban az alagutakat is tömedékelik tömörített bentonittal, bentonit-homok vagy bentonit közúzalék keverékkel, korlátozva a felszín alatti víz mozgását.

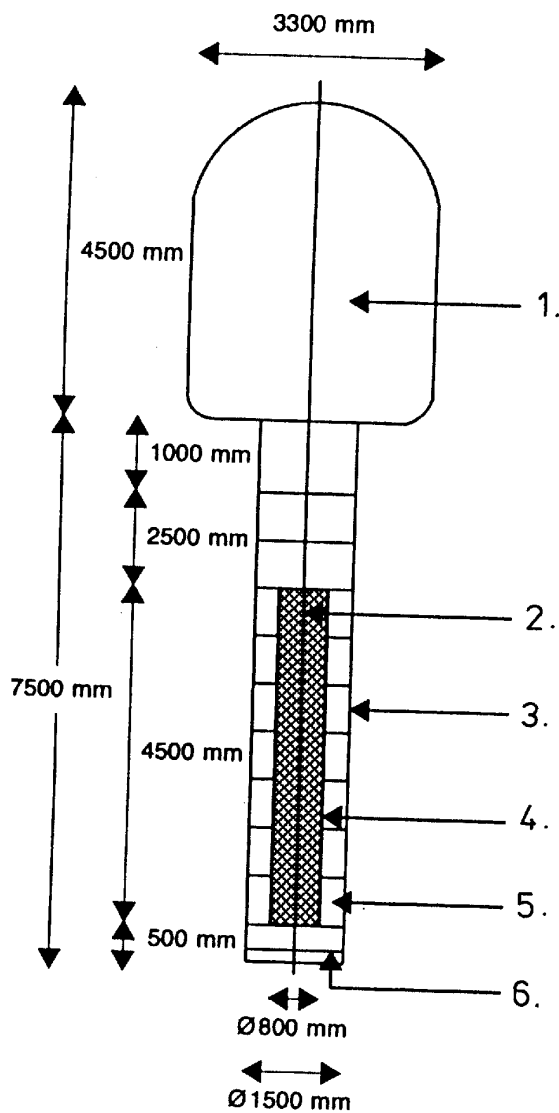


**6.111. ábra**

A svéd KBS-3 rendszer:  
alagút-akna rendszer a kiégett fűtőelemek elhelyezésére  
(IAEA, 1992.)

Különleges megoldást jelent a svédországi *WP-módszer* (**6.113. ábra**). Ennél a hulladékot egy kb. 40 m átmérőjű belső kavernában helyeznék el, amit egy, bányászati módszerrel, vágatok segítségével kialakított, a tojáshoz hasonló alakú, külső szigetelő burok vesz körül. A szigetelt rés vastagsága 5 m, a burok falának a távolsága a hulladéktároló kavernától közel 40 m. A szigetelő burok anyaga bentonit és kvarc por tömörített keveréke, amely a környezetének nedvességét adszorbeálja, s így duzzadása révén tovább tömörödik, s tökéletes vízzárást biztosít. A vízádszorpció további előnye az, hogy a nedvesség a számítások szerint mintegy 1000 évig nem tud a tárolóedényekhez eljutni, így azok korrodálódását jelentősen késlelteti. A rendszer tektonikus mozgásokra nem érzékeny. Az első blokk elkészülte után az építést kiszolgáló aknák alkalmasak lennének a további blokkok építésére is, így a beruházás költségei gazdaságosan elnyújthatók (LKESSON et al., 1980.).

A szilárd kőzetekben történő radioaktív hulladék-elhelyezés egy másik lehetősége a mély fúrólukakban történő lerakás. A lyukak átmérője 0,4-0,8 m, mélységük 4-5,5 km. A felső 500 métert betonnal vagy bitumennel töltik fel. A középső szakaszt (500-2000 m) jól tömörített Na-bentonittal szigetelik. Az alsó részbe kerülnek a hulladékkal töltött tárolóedények, egymástól kis távolságban, és a köztes teret bentonittal töltik ki.

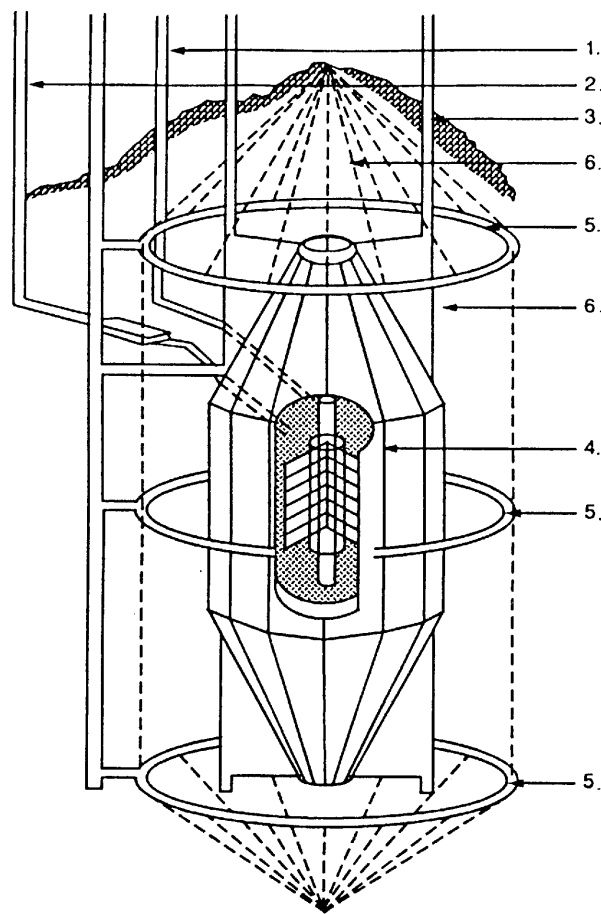


|    |                                          |    |                         |
|----|------------------------------------------|----|-------------------------|
| 1. | homok/bentonit tömedékelés               | 4. | blokk-köz (kb. 10 mm)   |
| 2. | kiegített fűtőelem-tároló tartály        | 5. | jól tömörített bentonit |
| 3. | bentonitporral kitöltött tér (kb. 50 mm) | 6. | bentonitpor anyagú alap |

### 6.112. ábra

Alagútból indított fúrólukak a nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésére: a svéd KBS-3 koncepció (IAEA, 1992.)





|    |                                                       |    |                                              |
|----|-------------------------------------------------------|----|----------------------------------------------|
| 1. | szállító akna                                         | 4. | 5m vastag bentonit/homok szigetelés          |
| 2. | szellőző akna                                         | 5. | vágat a hidraulikus védelmi rendszerhez      |
| 3. | a szigetelő résburok kialakíthatóságát biztosító akna | 6. | fűrőlyukak a hidraulikus védelmi rendszerhez |

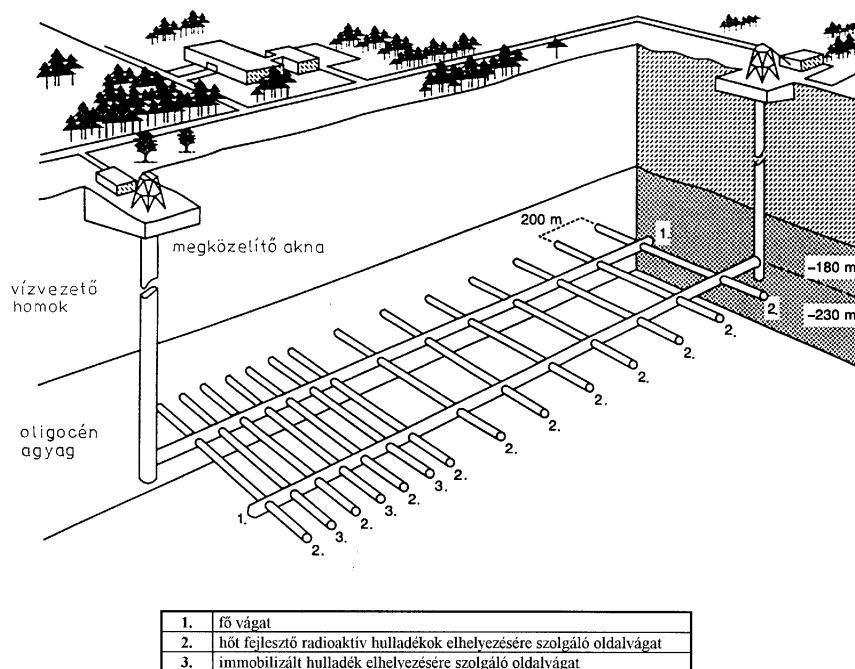
**6.113. ábra**  
A svéd WP-kaverna koncepció  
(IAEA, 1992.)

### *Agyagban kialakított lerakó*

Az agyag kőzeteknek általában nagyon kicsi az átteresztőképességük, azonban a konszolidáció foka és a porozitásuk igen eltérő lehet. A konszolidálatlan agyagkőzetek többnyire lágyak, plasztikusak, míg a túlkonszolidáltak merevek, a bennük kialakított térségek többnyire biztosítást is igényelnek.

Néhány országban (Belgium, Franciaország, Olaszország, USA, a volt Szovjetunió) foglalkoznak az ilyen kőzetösszletben történő radioaktív hulladék-elhelyezés lehetőségével, s megfogalmazták a plasztikus agyagban történő elhelyezés koncepcióját, és kiépített felszín alatti laboratóriumokban eredményes kísérleteket folytatnak.

A kísérletek közül legismertebb a belgiumi Mol-lerakó, ahol az oligocén agyagréteg vastagsága 100 m, települési mélysége 160-270 m a felszín alatt. A lerakó kialakításának a koncepcióját a **6.114. ábra** szemlélteti. Mint látható, a lerakó teljes kiépítettségében az agyagrétegben kialakított alagutak sorozatából fog állni, amelyeket vízzáró betonköpeny biztosítással látnak el. Az alagutakba két akna vezet le. A hulladékkal teli tartályokkal az alagutat megtöltve a köztes teret betonnal töltik ki.



**6.114. ábra**

Radioaktív hulladékok agyagban történő elhelyezésének általános koncepciója  
(Mol, Belgium)

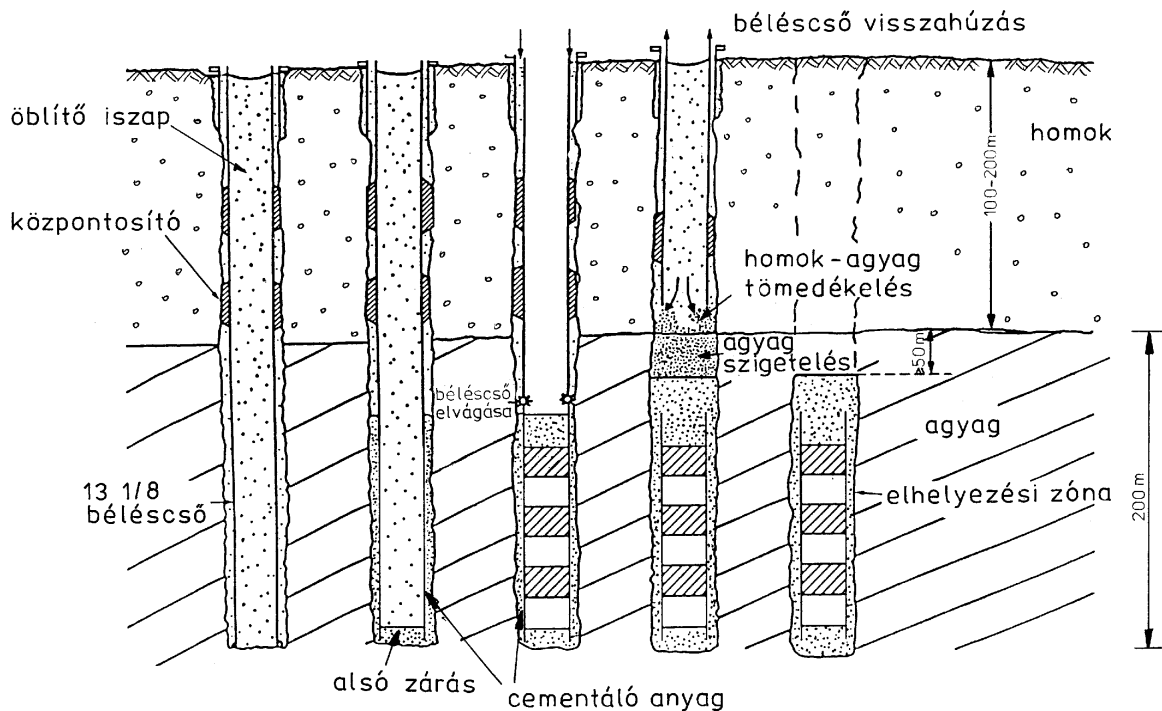
Az olaszországi elképzelés *felszínről fúrt lyukak sorozatából áll*. Olaszországban számos medencefeltöltésnél található több 100, sőt 1000 m vastag agyagréteg. A radioaktív hulladékok elhelyezésére az agyagréteg felső 200 méterét vennék igénybe, a kialakítás menetét a **6.115. ábra** mutatja be. Mint látható a legfelső 50 méterbe már nem kerülne hulladék, ezt a szakaszt szigetelőanyaggal tömedékelik.

### **Tufában kialakított lerakó**

Tufaközetben csak akkor létesíthető tároló, ha az telítetlen és a víz bejutása megakadályozható.

Mindmáig egyetlen ilyen kísérlet ismert a Yucca-hegységben. A terület szemi-arid éghajlatú, és a tároló 200-400 m-rel a felszín alatt lévő tufában van.

Mint látható, a befogadó kőzettől és a tároló kialakításának módjától, valamint a lerakandó hulladék aktivitásától függően az elhelyezési megoldások igen változatosak lehetnek, s valójában minden esetben egyedi. A hulladékkategóriáktól függő elhelyezési módokra vonatkozó NAŰ ajánlást a **6.16. táblázat** tartalmazza.



6.115.ábra

Radioaktív hulladékoknak agyagrétegekbe mélyített fúrólukakban történő olasz elhelyezési koncepciója (IAEA, 1992.)

#### 6.6.2.2. Az elfogadható mértékű kockázat elve

Mint a fejezet bevezetőjében a radioaktív hulladékok végleges elhelyezése céljának a megfogalmazásánál láttuk, a környezettől való elszigetelés mellett új fogalomként megjelent az *elfogadható mértékű kockázat*.

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség ajánlása (IAEA, 1987.) tisztán sugárvédelmi szempontból a  $10^{-4}$  eset/év kockázati értéket tekinti alapnak, mivel ez a természetes rákos megbetegedések kockázatának fluktuációján belül "eltűnik". A hulladékelfhelyezésre kidolgozott ajánlások ezt az értéket a szabályozás szintjén  $10^{-5}$  eset/évre csökkentették, és a műszaki megvalósítás során - a kockázati alapú szabályozással rendelkező országokban - egy nagyságrendnyi tartalékot hagynak a még ismeretlen, vagy nem kellő súllyal figyelembe vett folyamatok kockázati hányadára, így a műszaki kockázati célkitűzés  $10^{-6}$  eset/év (ORMAI, 1995.).

Ez az utóbbi érték - a kérdéssel foglalkozó szociológusok szerint - a társadalmilag elfogadható szintet jelenti, figyelembe véve a "sugaras kockázatok" nem önként vállalt voltát és az egyéb ipari és társadalmi tevékenységekre eltűrt  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  eset/év kockázati értékeket (bányászat, közúti közlekedés, háztartás).









### **6.6.3. A radioaktív hulladék elhelyezése a fejlett országokban**

A fejlett országok radioaktív hulladékának elhelyezésére és tárolására vonatkozó koncepciót a **6.17. táblázat** foglalja össze KESSERŰ (1995.) munkája nyomán. Általánosságban megállapítható, hogy a nagyaktivitású, hosszú élettartamú radioaktív hulladékok végleges lerakóját még egyik ország sem alakította ki. Az atomerőművekben keletkező kiégett fűtőelemeket száraz vagy nedves módszerrel átmenetileg tárolják, vagy reprocesszálják. A kis- és közepes aktivitású hulladékoknál elsősorban a szilárdítás, illetve a kisebb térfogatra sajtolás a cél, amelyeknek a végleges tárolása néhány országban (Franciaország, Egyesült Királyság) már megoldott, máshol (Németország) ezek főleg átmeneti tárolókban vannak elhelyezve. Az évezred végére valószínűleg néhány nagy mélységben kialakított tároló már üzemelni fog, de a teljes kiépítettség csak a következő évszázad első évtizedeiben várható.

Jelenleg intenzív kutatások folynak számos *földalatti kutatólaboratóriumban*. A kutató laboratóriumok megépítése történhet:

- bányákban, alagutakban, a lehetséges befogadó kőzetekkel *analóg helyszínen* (pl. Stripa, Aspö, Svédország; Grimsel, Svájc; Asse, Németország; Salt Vault, USA; stb.);
- a *tervezett tárolás helyszínén* (pl. Konrad bánya, Morsleben, Gorleben, Németország; Mol, Belgium; Schafisheim, Wellenberg, Svájc; Shellafield, Anglia; Yucca Mountain, USA; stb.).

A földalatti kutatólaboratóriumok különösen előnyösek, mert a leendő lerakóval azonos helyszínen, vagy azonos fizikai-kémiai körülmények között folynak a kísérletek. A 60-as évek közepétől egyre több földalatti kutatólaboratórium létesült. A vizsgálatok négy nagy területen folynak. Ezek:

- a termomechanikai vizsgálatok, amikor a hulladék hőtermelésének a befogadó kőzet tulajdonságaira gyakorolt hatását vizsgálják;
- a felszínalatti vízmozgás vizsgálata;
- a radioaktív anyagok migrációjának a vizsgálata;
- a geotechnikai vizsgálatok.

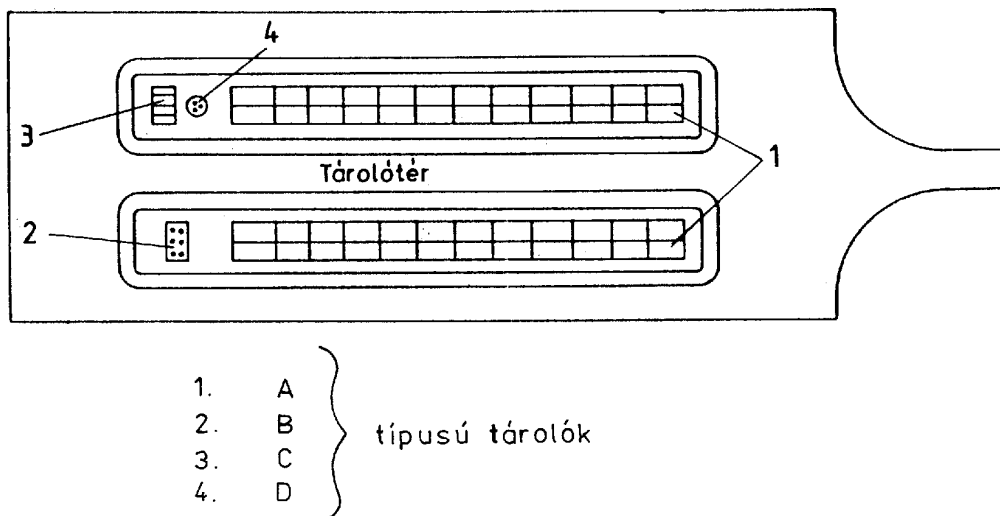
### **6.6.4. A radioaktív hulladék elhelyezése hazánkban**

A *hazai* izotópos munkahelyek és nem energetikai célú atomreaktorok hulladékának feldolgozására és elhelyezésére *1976-ban Püspökszilágy térségében izotóptemető* készült. Itt a hulladékokat a talaj felső rétegeiben temetik el.

A különféle tárolók elrendezése a **6.116. ábrán** látható. A hulladéktárolók alja és a talajvíz között 15-20 m vastag agyagos réteg helyezkedik el, ami vízzárósága és adszorpciós tulajdonságai révén visszatartja a tárolókból esetlegesen kijutó radioaktív anyagot.

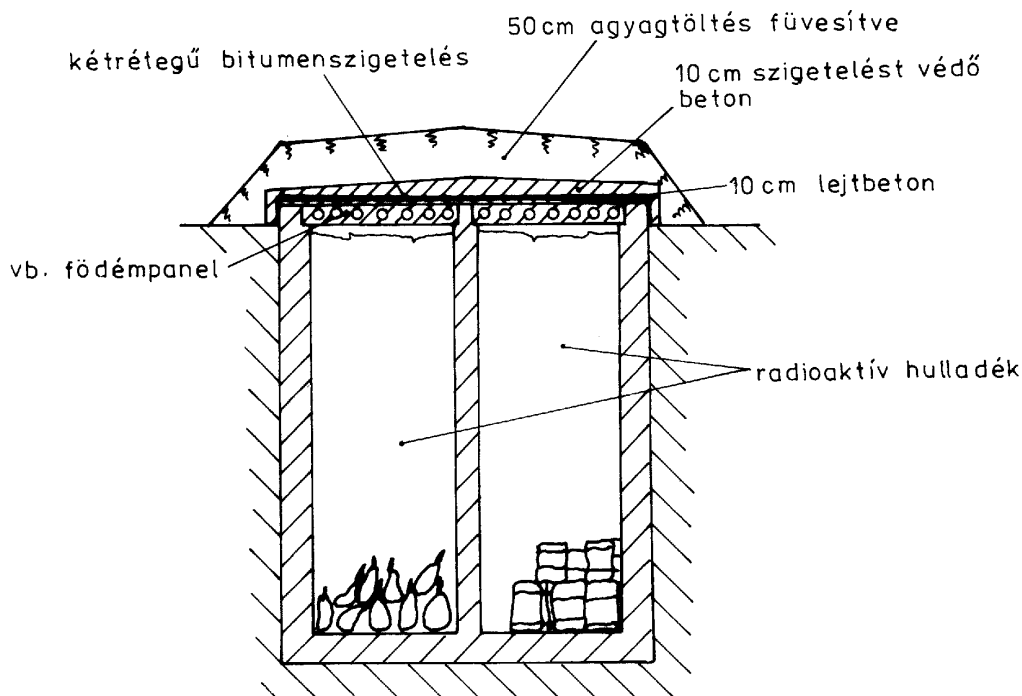
Az A jelű tárolók 70 m<sup>3</sup>-es, 6 m mélyen földbe süllyesztett vasbeton szekrények, kívül-belül vízzáró bevonattal. Ezekbe a tárolókba helyezik el a szilárd radioaktív hulladékokat és a bitumenbe ágyazott biológiai hulladékokat. A hézagokat radioaktív szennyvízből készült folyékony betonnal töltik ki. A B és D típusú tárolók betonba ágyazott rozsdamentes acélcsővek, amelyek zárt sugárforrás-hulladékok elhelyezésére valók. A B tárolók nagy aktivitású, a D típusú tárolók közepes aktivitású sugárforrások elhelyezésére alkalmasak.





**6.116. ábra**  
Radioaktív hulladék-tárolók  
(Püspökszilágy I.)

A C típusú tárolóba kovaföldre felitatott szervesoldószer-hulladékokat helyeznek el. Az A és C típusú tárolók végleges lezárását a **6.117. ábra** szerint végzik. A B és D tárolók végleges lezárása a tárolócsövek betonnal való kiöntését, a cső felszínén levő részének betonba ágyazását, szigetelését és agyagréteggel történő borítását jelenti.



**6.117. ábra**  
Szilárdhulladék-tároló végleges lefedése a püspökszilágyi  
izotóptemetőben

A paksi atomerőmű kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékainak - a szovjet műszaki tervben javasolt - és az erőmű területén történő átmeneti tárolását a hulladéktárolás szempontjából kedvezőtlen földtani viszonyok miatt már a műszaki terv jóváhagyása előtt elvetették. Ugyanakkor elhatározás született arra, hogy rögtön a végleges eltemetést kell megoldani.

Mivel a paksi hulladékok végleges elhelyezésének megoldására tett kísérlet kétszer (1983. Magyarereggy és 1990. Ófalu) is sikertelenül zárult, jelenleg a paksi atomerőmű négy blokkjában keletkező folyékony radioaktív hulladékokat átmenetileg tartályokban tárolják.

A paksi atomerőműben a bepárlási maradékok tárolására 4300 m<sup>3</sup> tárolótér fogat áll rendelkezésre, amelynek több, mint a fele már megtelt. Az ioncserélő gyanták átmeneti tárolására szolgáló 2100 m<sup>3</sup>-es tartálytér fogatnak még alig több, mint 15%-a van kihasználva. A paksi atomerőműben évente kb. 100 m<sup>3</sup> szilárd és 250 m<sup>3</sup> folyékony *kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék* keletkezik. A reaktorok kiégett fűtőelemei nagy aktivitásúak. Harminc éves üzemidő alatt 15300 kiégett fűtőkazetta keletkezik. Az erőmű 2015 után kezdődő fokozatos leszerelése során további kb. 26000 m<sup>3</sup> kis és közepes aktivitású, valamint 2000-2200 m<sup>3</sup> nagy aktivitású hulladék biztonságos elhelyezéséről kell gondoskodni. A kiégett fűtőelemeket államközi szerződés keretében Oroszországba szállították. Kérdéses, hogy e kiszállítás a jövőben meddig tartható fenn. 1996. végére elkészül az atomerőműben egy átmeneti tároló első egysége, melyben a kiégett fűtőelemeket 40-100 éven át tárolni lehet.

A kis és közepes aktivitású hulladékok hazai elhelyezésének megoldására az Országos Atomenergia Bizottság kezdeményezésére 1992-ben „Nemzeti Projekt” indult. 1994-re elkészült a kis és közepes aktivitású hulladékok telephely kiválasztásának követelmény rendszere. Ezután a Magyar Állami Földtani Intézet vezetésével, több intézmény bevonásával előbb országos felmérés készült, majd egy 5000 km<sup>2</sup> kiterjedésű leszűkített területen folyt tovább a kutatás. A lakossági elfogadás figyelembevételével három potenciálisan alkalmasnak látszó telephely kijelölésére került sor, melyeken felderítő jellegű fúrásokat végeztek Üveghuta (gránit), Udvari és Diósberény (negyedkori lösz és pannon agyag) térségében azzal a céllal, hogy ki lehessen választani a további részletes kutatásra leginkább alkalmas telephelyet (BÁRDOSSY, 1996.; BREZSNYÁNSZKY-BALLA, 1996.).

A *nagy aktivitású hulladékok* hazai elhelyezésére 1989-ben a Mecseki Ércbányászati Vállalat tett kezdeményezést és kutatásra ajánlotta a Mecsek hegységben található felső perm korú Bodai Aleurolit Formációt. A működő uránérc bányából 1100 m mélységben kihajtott vágattal feltárták a képződményt és abban nagy számú és sokoldalú vizsgálatokat végeztek, melyek egy része máig folytatódik. Az eddigi eredmények szerint a képződmény rendkívül alkalmasnak látszik nagy aktivitású hulladék felszín alatti tárolására. 1996-ban a fent említett Nemzeti Projekt-től független, új kutatási program indult e képződmény alkalmasságának egyértelmű megállapítására. Ezek a kutatások jelenleg folyamatban vannak. A kutatások szakmai felügyeletére szakértői bizottság alakult, ezen felül előirányozták a külföldi tapasztalatok minél szélesebb körű figyelembevételét (BÁRDOSSY, 1996.).

### 6.7. Irodalomjegyzék

ACAR, Y.B.-SEALS, R.K. (1984):

Clay barrier technology for shallow land waste disposal facilities  
Hazardous Waste, Vol. 1. No. 2. pp. 167-181.

A<sup>o</sup>KESSON, B.A<sup>o</sup>-BERGMANN, S.G.A.-SAGEFORS, K.I. (1980):

WP-cave-A new concept for underground high-level nuclear waste repository  
Subsurface Space. Proc. of the International Symposium (Rockstore '80), Stockholm,  
June 23-27. Pergamon Press, pp. 791-799.

ASTM (1987):

American Society for Testing and Materials  
Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.08,  
Soil and Rock; Building Stones

AUGUST, H. (1986):

Untersuchungen und Wirksamkeit von Kombinationsdichtungen  
Fortschritte der Deponietechnik, (Hrsg.: STIEF-FEHLAU), Abfallwirtschaft in  
Forschung und Praxis, Band 16. pp. 103-122.

AUGUST, H. (1988):

Untersuchungen über Kunststoffdichtungen  
(Hrsg.: THOME-KOZMIENSKY, K.J.) Deponie-2 EF-Verlag für Energie- und  
Umwelttechnik GmbH. pp. 375-405.

BAGCHI, A. (1989):

Design, construction and monitoring of sanitary landfill  
John Wiley and Sons, p. 285.

BALLA Z. (1995):

Szakirodalmi kutatómunka kis- és közepes radioaktivitású hulladékok elhelyezésére  
alkalmas objektumok kijelölésére  
Kézirat

BALTHAZÁR ZS. (1993):

A veszélyes hulladék biztonságos lerakása  
ÁRVAI J. (szerk.): Hulladékgazdálkodási kézikönyv, pp. 480-499. Műszaki Könyvkiadó

BÁRDOSSY GY. (1996):

Deponierungsmöglichkeiten für die ungarischen Nuklearabfälle  
(in: Das Multibarrierensystem in der Deponiebautechnik  
Hrsg.: CZURDA, K.-SZABÓ, I.)  
AGK Schriftenreihe, 44. Karlsruhe, 1996. pp. 14.1-14.5.

BEINE, R.-SCHERBECK, R. (1992):

Standsicherheitsnachweise für Kombinationsdichtungen bei Deponien  
Fortschritte der Deponietechnik 1992.(Hrsg.: FEHLAU, K.P-STIEF, K.), pp. 187-213.  
Erich Schmidt Verlag

BELOUSCHEK, P.-KÜKLER, J.U.-NOVOTNY, R. (1990):

Wasserglas für Deponieabdichtungen  
Umwelt, Band 20. No. 78. pp. 387-388.

BENÁK F. (1990):

Nemez szerkezetű geotextíliák vizsgálata  
A Pollack Mihály Műszaki Főiskola Tud. Közleményei, 5. köt. pp. 83-91.

*BERECZ E. (1991):*

Biztonságos hulladéklerakók. Természetes és mesterséges szigetelőanyagok kiválasztása a hulladékkal való kompatibilitás függvényében  
Környezetvédelmi füzetek, 9. sz.

*BILITEWSKI, B.-HÄRDLE, G.-MAREK, K. (1990):*

Abfallwirtschaft  
Springer Verlag

*BOHN, P. (1982):*

Radioaktív és erősen toxikus hulladékok elhelyezésére alkalmas geológiai képződmények megítélésének rendszere  
Földtani Kutatás, XXV. évf. 2. sz. pp. 96-99.

*BOTHMANN, P. (1986):*

Langzeituntersuchungsprogramm für Deponien  
Fortschritte der Deponietechnik (Hrsg.: *FEHLAU-STIEF*), pp. 315-348. Erich Schmidt Verlag

*BOTHMANN, P. (1987):*

Kontrollen an Deponien - Vorschlag für ein erforderliches Überwachungsprogramm  
Zeitgemäße Deponietechnik, Band 24. pp. 57-70.

*BRÁCKER, W.-SCHLÜTTER, A.-SÂNGER, F. (1994):*

Deponiebauteile für Kombinationsabdichtungssysteme  
Bautechnik, 71. H.5. pp. 293-299.

*BRANDL, H. (1989.):*

Geotechnische und bauliche Aspekte bei der Neuanlage von Abfalldeponien  
Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 134. Jg. H.3. pp. 123-163.

*BRENDEL, G.F.-GLOGOWSKI, P.E.-GRECO, J.L. (1987):*

Use of geomembranes in deep valley landfills  
Geotechnical Practice for Waste Disposal '87, ASCE, pp. 334-346.

*BREZSNYÁNSZKY K.-BALLA Z. (1996):*

Földtudományi kutatás a kis és közepes radioaktivitású hulladékok elhelyezésére  
Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, 1996.

*BROWN, K.W.-ANDERSON, D.C (1988):*

Aboveground disposal of hazardous waste  
Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal (ed.: *FREEMAN, H.M.*)  
Mc Graw-Hill Book Comp. pp. 10.85.-10.91.

*BRUNE, M. (1994):*

Abdichtungssysteme  
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und - prüfung  
Forschungsbericht 201. Deponieabdichtungssysteme, pp. 8-17. Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

*BRUNE, M. (1994):*

Entwässerungssysteme  
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und - prüfung  
Forschungsbericht 201. Deponieabdichtungssysteme, pp. 19-39. Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

- BUDHU, M.-GIESE, R.F.-CAMPBELL, G.-BAUMGRASS, L. (1991):*  
The permeability of soils with organic fluids  
Canadian Geotechnical Journal, Vol. 28. pp. 140-147.
- BUNYEVÁ CZ J.-VÁRNAI P.-KABAI J.-KABAI JNÉ (1980):*  
Tervezési útmutató a veszélyes hulladékok lerakással történő elhelyezéséhez  
DÉLTERV, Pécs, Kézirat
- BURKHARDT, G.-THEURER, H. (1987):*  
Elemente einer Hochsicherheitsdeponie  
ZeitgemäÙe Deponietechnik. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 15., pp. 303-314.
- CHAPIUS, R.P. (1990 a):*  
Soil-bentonite liners: predicting permeability from laboratory tests  
Canadian Geotechnical Journal, 27. pp. 47-57.
- CHAPIUS, R.P. (1990 b):*  
Sand-bentonite liners: field control methods  
Canadian Geotechnical Journal, 27. pp. 216-223.
- CHAPMAN, N.A.-Mc KINLEY, I.G. (1994):*  
The geological disposal of nuclear waste  
John Wiley and Sons, p. 249.
- CHEN, W.F. (1975):*  
Limit analysis and soil plasticity  
Elsevier
- CHRISTENSEN, Th.H.-COSSU, R.-STEGMANN, R.. (1989):*  
Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact  
Academic Press
- COPE, F.M.-JOSE, S. (1987):*  
Design of waste containment structures  
Geotechnical Practice for Waste Disposal '87  
Geotechnical Special Publication, No. 13. ASCE. pp. 1-20.
- DANIEL (1987):*  
Earthen liners for land disposal facilities  
Geotechnical Practice for Waste Disposal '87  
Geotechnical Special Publication, No. 13. ASCE. pp. 21-39.
- DANIEL, D.E.-BOWDERS, J.J. (1996):*  
Waste containment systems by geosynthetics. State of the art report.  
Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. of Environmental Geotechnics, Osaka,  
Balkema, Rotterdam
- DAVIS, M.L.-CORNWELL, D.A. (1985):*  
Introduction to Environmental Engineering  
McGraw-Hill Inc.
- DEMETRACOPOULOS, A.C.-KORFIATIS, D.F. (1984):*  
Modelling for design of landfill bottom liners  
Journal of Geotechnical Engineering Division, Vol. 110. No. 6. ASCE, pp. 1084-1098.
- DGEG (1994):*  
Empfehlung "Felshohlräume zur Verbringung von Rest- und Abfallstoffen" des  
Arbeitskreises 29 der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau  
Bautechnik, H.5. pp. 242-264.

- DÖRHÖFER, G.-THEIN, I.-WIGGERING, H. (1993):*  
Untertägige Entsorgung bergbaufremder Rückstände in Deutschland  
Ernst und Sohn, p. 58.
- DÖRR, H.-ROBOLD, E.-PAETZELT, R. (1993):*  
Sicherheitsbetrachtungen zu Deponien in Hinblick auf den Grundwasserschutz am  
Beispiel der geplanten Restmülldeponie Arxbach  
Müll und Abfall, H.9. pp. 3-11.
- DRESCHER, J. (1988):*  
Deponiedichtungen für Sonderabfalldeponien  
Müll und Abfall, H.7. pp. 281-295; H.8. pp. 338-347.
- DRESCHER, J.-MEYER, H. (1990):*  
Zur Standsicherheit von Abfalldeponien  
Neuzeitliche Deponietechnik (Hrsg.: *JESSBERGER, H. L.*), pp. 149-160. Balkema,  
Rotterdam
- DUNN, R.J.-MITCHELL, J.K. (1984):*  
Fluid conductivity testing of fine-grained soils  
Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 110. No. GT 11. pp. 1648-1665.
- ERVIN, M.C. (1939):*  
Specification and control of earthworks  
Engineering fills. Proc. of the Conference Engineered fills '93., Newcastle upon Tyne.  
Thomas Telford, pp. 18-41.
- FANG, H.Y.-EVANS, J.C. (1986):*  
Analysis, design and construction of hazardous waste control systems  
Proc. of the Int. Symposium on Environmental Geotechnolgy (ed.: *FANG, H.Y.*), Vol.  
1. Bethlehem (USA)
- FEHÉR L.-KASZA I.-TÖRÖK I. (1975):*  
Radioaktív hulladékok elhelyezése talajban  
Izotóptechnika, 18. pp. 509-520.
- FINKENWIRTH, A. (1980):*  
Die Versenkung flüssiger Abfälle in Schluckbrunnen  
Handbuch für Müll und Abfall (Hrsg: *KUMPF-MAAS-STRAUB*) Erich Schmidt Verlag,  
Berlin
- FOLKES, D.J. (1982):*  
Fifth Canadian Geotechnical Colloquium: Controls of contaminants migration by the  
use of liners  
Canadian Geotechnical Journal, 19. pp. 320-344.
- FRANZIUS, V. (1987):*  
Bedeutung von Oberflächenabdichtungen für Gas-und Wasserhaushalt von Deponien  
Fortschritte der Deponietechnik. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis pp. 167-173.  
Erich Schmidt Verlag
- FRIESECKE, G. (1985):*  
Die Ausschreibung von Deponiebasisabdichtungen aus Dichtungsbahnen  
Deponiebasisabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen  
Beihefte zu Müll und Abfall, H.22. pp. 13-21.
- FÜRER, G. (1989.a):*  
Deponie untertage-eine Entsorgungschance?  
VDI Berichte, 789. sz. pp. 79-94.

- FÜRER, G. (1989.b):*  
Sonderabfälle untertage einlagern  
Umwelt, Bd. 19. No. 9. pp. 454-456.
- GILMORE, W.R. (1977):*  
Radioactive waste disposal low and high-level  
Pollution Technology Review, No. 38.; Park Ridge, New Jersey, USA
- GIROUD, J.D. (1982):*  
Filter criteria for geotextiles  
Proc. 2nd. Int. Conf. Geotextiles, Las Vegas, Nev., Vol. 1. pp. 103-109.
- GIROUD, J.P.-HOULIHAN M.F. (1995):*  
Design of leachate collection layers  
Proc. 5<sup>th</sup> International Landfill Symposium, Sardinia '95  
S. Margherita di Pula  
CISA, Cagliari
- GORDON, M.E. (1987):*  
Design and performance monitoring of clay-lined landfills  
Proc. ASCE Spec. Conf. Geotechnical Practice of Waste Disposal, Ann. Arbor, pp. 500-513.
- GOSSOW, V. (1985.a):*  
Construction of a large storage for critical waste  
Engineering Geology, 21. pp. 349-358.
- GOSSOW, V. (1988):*  
Hochsicherheits-Deponietechnik  
Müll und Abfall, No. 1. pp. 14-21.
- GOSSOW, W. (1985.b):*  
Sonderabfalldeponie Mainflingen (Hessen)  
Tiefbau, Ingenieurbau, Straßenbau, No. 4. pp. 212-129.
- GRIFFIN, R.A.-CARTWRIGHT, K.-SHIMP, N.F.-STELE, J.D.-RUCH, R.R.-WHITE, W.A.-HUGHES, G.M.-GILKESON, R.H. (1976):* Attenuation of pollutants in municipal landfill leachate by clay minerals. Part 1. Column leaching and field verification  
Illionis State Geol. Survey, Environmental Geology Notes, No. 79.
- GRIFFIN, R.A.-FROST, R.R.-AU, A.K.-ROBINSON, G.D.- SHIMP, N.F. (1977):* Attenuation of pollutants in municipal landfill leachate by clay mineral. Part 2.: Heavy-metal adsorption  
Illionis State Geol. Survey, Environmental Geology Notes, No. 79.
- HEERTEN, G. (1988):*  
Funktion und Wirkungsweise von Geotextilien in Deponie-Dichtungssystemen  
Deponie 2. Ablagerung von Abfällen (Hrsg.: THOME-KOZMIENSKY, K.), pp. 406-424.  
EF Verlag
- HERMANN, A.G. (1983):*  
Radioaktive Abfälle. Probleme und Verantwortung  
Springer Verlag
- HERMANN, A.G.-KNIPPING, B. (1993):*  
Waste disposal and evaporites  
Springer Verlag

*HILLEBRECHT, E. (1986):*

Kombinationsdichtung auf der Deponie Bastwald-Herstellung und Qualitätssicherung  
Fortschritte der Deponietechnik (Hrsg.: *STIEF-FEHLAU*), Abfallwirtschaft in  
Forschung und Praxis, Band 16. pp. 123-154. Erich Schmidt Verlag

*HÓDI J.-KOMLÓS CS.-LESENYEI CS.-ZARÁNDY L. (1987):*

Épül az aszódi veszélyes hulladéktároló telep  
Műszaki Tervezés, XXVII. évf. 9. sz. pp. 3-10.

*HOLTMAN, G.-HOLST, H. (1989):*

Neue Deponieformen-Deponiebasisabdichtung "System Holtman"  
Zeitgemäße Deponietechnik III. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 35. pp.  
289-302.

*HOLZLÖHNER, U. (1994):*

Chemische und physikalische Einwirkungen auf mineralische Abdichtungsmaterialien,  
innovative Baustoffe  
BAM Forschungsbericht 201. Deponieabdichtungssysteme, pp. 105-116. Verlag für  
neue Wissenschaften, Bremerhaven

*HORN, A. (1986):*

Mineralische Basisabdichtungen für Abfalldeponien  
Fortbildungsseminar Spezialtiefbau  
VBI. Landesverband Bayern, München, Oktober 1986. Band 2. Teil B, pp. 3-33.

*HORN, A. (1988 a):*

Bentokies-Dichtungen. Mineralische Basisabdichtungen aus Kies und Bentonit  
Geotechnische Probleme beim Bau von Abfalldeponien. Seminar: veranstaltet von der  
Landesgewerbeanstalt Bayern und dem Bayerischen Landesamt für Umweltschutz,  
Nürnberg, 21/22. April 1988. pp. 29-53.

*HORN, A. (1989):*

Mineralische Deponie-Flächendichtungen aus gemischtkörnigen Böden  
Bautechnik, H.9. pp. 311-318.

*HORN, A. (1992):*

Untergrund, Basis- und Oberflächendichtung von Abfalldeponien  
Bautechnik, H.9. pp. 462-473.

*HÖTZL, H. - WOHNLICH, S. (1988):*

Sickerwasserneubildung bei verschiedenen Abdecksystemen an Deponien  
Zeitgemäße Deponietechnik II. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 29. pp.  
99-115. Erich Schmidt Verlag

*HUANG, Y.H. (1982):*

Stability analysis of earth slopes  
Van Nostrand Reinhold Company, New York

*IAEA (1977):*

Site selection factors for repositories for solid high-level and alpha-bearing wastes in  
geological formations  
Technical Report Series, No. 177., International Atomic Energy Agency, p. 64.

*IAEA (1982):*

Site investigation for repositories for solid wastes in deep continental geological  
formations  
Technical Reports Series, No. 215, p. 77.



- IAEA (1992 a):*  
Performance of engineered barriers in deep geological repositories  
Technical Reports Series, No. 342, p. 77.
- IAEA (1992 b):*  
Storage of radioactive wastes  
IAEA-TECDOC-653, p. 43.
- IAEA (1994):*  
Siting of near surface disposal facilities  
Safety Series, No. 111-6-3.1. p. 28.
- INGOLD, T.S.-MILLER, K.S. (1988):*  
Geotextiles handbook  
Thomas Telford, London, p. 153.
- IRELAND, T.J. (1992):*  
Characterization of the Sellafield area for the development of an underground  
radioactive waste repository  
Eurock '92. Thomas Telford, London. pp. 474-481.
- JESSBERGER, H.L. (1987-1994):*  
Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und Altlasten" der  
Deutschen Gesellschaft für Erd-und Grundbau e.V.  
Bautechnik, 1987. H.9. pp. 289-303.  
Bautechnik, 1988. H.9. pp. 289-305.  
Bautechnik, 1989. H.9. pp. 289-309.  
Bautechnik, 1990. H.9. pp. 289-299.  
Bautechnik, 1991. H.9. pp. 294-315.  
Bautechnik, 1992. H.9. pp. 474-496.  
Bautechnik, 1993. H.9. pp. 504-517.  
Bautechnik, 1994. H.9. pp. 527-552.
- JESSBERGER, H.L. (1990):*  
Stoffeigenschaften von Abfall im Hinblick auf Standsicherheitsuntersuchungen an  
Abfalldeponien  
Neuzeitliche Deponietechnik (Hrsg.: *JESSBERGER, H.L.*), pp. 171-191. Balkema,  
Rotterdam
- KARCZMARZYK, W. (1986):*  
Kombinationsdichtung auf der Deponie Wilsum-Herstellung und Qualitätssicherung  
Fortschritte der Deponietechnik (Hrsg.: *STIEF-FEHLAU*), Abfallwirtschaft in  
Forschung und Praxis, Band 16. pp. 155-166. Erich Schmidt Verlag
- KASSAI F.-JAMBRIK R. (1986):*  
Vízányászat II. (Fúrt kutak)  
Tankönyvkiadó, Bp.
- KERTÉSZ GY. - MANN T. (1993):*  
A hulladék végső elhelyezése  
Hulladékgazdálkodási kézikönyv (szerk.: *ÁRVAY Z.*) pp. 424-458. Műszaki  
Könyvkiadó, Bp
- KESSERŰ ZS. (1995):*  
A mélységi hulladék elhelyezés nemzetközi irányzatai és a kis országok lehetőségei  
Kézirat

*KÉZDI Á. (1976):*

Külszíni szénfejtések talajmechanikai kérdései  
Talajmechanikai példák és esettanulmányok  
Tankönyvkiadó, Bp. pp. 175-198.

*KÉZDI Á.-MARKÓ I. (1974):*

Földművek. Víztelenítés  
Műszaki Könyvkiadó, Bp.

*KGI (1993):*

Települési szilárd hulladék-gazdálkodási keretterv  
PHARE Project 701. tanulmány  
KGI-Környezetgazdálkodási Intézet, Kézirat

*KINZELBACH, W. (1986):*

Groundwater modelling (An introduction with sample programs in BASIC)  
Elsevier, N.Y.

*KNIPSCHILD, F.W. (1985):*

Werkstoffauswahl und Dimensionierung von Kunststoffdichtungsbahnen für  
Grundwasserschutzmaßnahmen  
Deponiebasisabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen, Beihefte zu Müll und Abfall,  
H.22. pp. 49-60.

*KOCHENDOERFER, G. (1989):*

Neue Deponieformen-System BASF  
Zeitgemäße Deponietechnik III. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 35. pp.  
303-319. Erich Schmidt Verlag

*KOERNER, R.M. (1986):*

Designing with geosynthetics  
Prentice Hall, p. 424.

*KOERNER, R.M. (1986):*

Use of flexible membrane liners for industrial and hazardous waste disposal  
Geotechnical Special Publication, No. 13. ASCE, pp. 65-86.

*KOVÁCS B.-SZABÓ I. (1993):*

Számítógépes modellvizsgálat a P. Vegyipari Vállalat által lerakott veszélyes hulladék  
átdeponálással történő ártalmatlanítására  
Szakvélemény, Kézirat

*LAKATOS I.-SZABÓ I. (1997):*

A környezetvédelemben alkalmazható vertikális és horizontális szigetelőgátak  
egyenértékűségének feltételei  
Mélyépítéstudományi Szemle, 1997. 11. sz. pp. 423-431.

*LANDVA, A.-KNOWLES, G.D. (1990):*

Geotechnics of Waste Fills-Theory and Practice  
ASTM-STP 1070

*LANGER, M. (1986):*

Main activities of engineering geologists in the field of radioactive waste disposal  
Bulletin of the IAEG, No. 34. Paris, pp. 25-38.

*LANGER, M. (1991):*

Engineering geological investigations for planning and construction of an underground  
repository for low-level radioactive wastes  
Engineering Geology, 30. pp. 115-126.

- LECHNER, P.-PAWLICK, R. (1986):*  
Anforderungen an Mülldeponien. Grundlagen zum Richtlinienentwurf  
7. Seminar Abfallwirtschaft an der TU Wien. Abfallwirtschaft, Band 7. pp. 149-166.
- MAHLER, H. (1991):*  
Anforderungen an mineralische Oberflächenabdichtung anhand praktischer Beispiele  
Handbuch der Umwelttechnik. UTEC-Absorga, Linz, pp. 325-327.
- MANASSERO, M.-VAN IMPE, W.F.-BOUAZZA, A. (1997):*  
Waste disposal and containment. State of the art report.  
Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. of Environmental Geotechnics, Osaka pp. 1425-1474.  
Balkema, Rotterdam
- MANASSERO, M.-PARKER, R.-PASQUALINI, E.-SZABÓ, I.-ALMEIDA, M.-BOUAZZA, A.-  
DANIEL, D.E.-ROWE, R.K. (1998):*  
Controlled Landfill Design (Geotechnical Aspects)  
TC55SC4 Report  
3<sup>rd</sup> Int. Conf. of Environmental Geotechnics,  
Lisboa, 1998.
- MARCZAL L. (1986):*  
Műszaki textíliák alkalmazása  
Tervezési segédlet. Településfejlesztési és Technikai Építészeti Intézet, Bp. p. 78.
- MARTIN, J.P.-KOERNER, R.M.-WHITTY, J.E. (1984):*  
Experimental friction evaluation of slippage between geomembranes, geotextiles and  
soils  
Proc. Int. Conf. Geomembranes, Denver, Colorado, Jun. 20-23. pp. 191-196.
- VON MAUBEUGE, K. (1995):*  
Performance of geosynthetic clay liners (GCLs)  
(in: Das Multibarrierensystem in der Deponiebautechnik  
Hrsg: CZURDA, K.-SZABÓ, I.)  
AGK Schriftenreihe, 44. Karlsruhe, 1996. pp. 10.1.-10.27
- Mc BEAN, E.A.-POLAND, R.-ROVERS, F.A.-CRUTCHER, A.J. (1981):*  
Leachate collection design for containment landfills  
Journal of the Environmental Engineering Division, Vol. 108. No. EE1. ASCE, pp. 204-  
209.
- MEGGYES, T. (1994. a):*  
Bauverfahren, Qualitätsicherung  
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und - prüfung  
Forschungsbericht 201. Deponieabdichtungssysteme pp. 117-134. Verlag für neue  
Wissenschaft GmbH, Bremerhaven
- MEGGYES, T. (1994. b):*  
Oberflächenabdichtungssysteme  
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und - prüfung  
Forschungsbericht 201. Deponieabdichtungssysteme, pp. 173-185. Verlag für neue  
Wissenschaft GmbH, Bremerhaven
- MELCHIOR, S.-BERGER, K.-VIELHABER, B.-MIEHLICH, G. (1993):*  
Comparison of the effectiveness of different liner systems for top cover  
Proc. 4<sup>th</sup> International Landfill Symposium, Sardinia '93  
S. Margherita di Pula  
CISA, Cagliari

- MESECK, H. (1987):*  
Dichtwände und Dichtsohlen  
Mitteilungen des Institutes für Grundbau und Bodenmechanik, TU Braunschweig, H. 23.
- MITCHELL, J.K.-SEED, R.B.-SEED, H.B. (1990):*  
Stability considerations in the design and construction of lined waste repositories  
Geotechnics of Waste Fills-Theory and Practice, (ed.: *LANDVA, A.-KNOWLES, G.*)  
ASTM-STP 1070, pp. 207-224.
- MONTGOMERY, R.J.-PHILIPPI, T.C.-VRABEC, S. (1986):*  
Field evaluation of natural soils landfill cover designs at Omega Hills landfill  
Wisconsin 9th Annual Madison Waste Conference, Sept. 9-10. University of Wisconsin, pp. 143-167.
- MOORE, C.A. (1980):*  
Landfill and surface impoundments evaluation  
EPA/530/SW-869C, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio
- MORFELDT, C.O.-MORFELDT, D. (1986):*  
Swedish primary formations (granites and gneisses) as hostrock for nuclear waste deposits  
Bulletin of the IAEG, No. 34. Paris, pp. 45-50.
- MOSONYI E.-PAPP F. (1959):*  
Műszaki földtan  
Műszaki Könyvkiadó, Bp.
- MÜLLER, E.R. (1985):*  
Planung einer zweifach-Basisabdichtung zur schadlosen Entwässerung einer Sondermüll-Deponie  
Fortschritte der Deponietechnik (Hrsg: *FEHLAU-STIEF*), Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 15. pp. 199-218.
- MÜNK, G. - HEGLER - MENNIG, G. (1989):*  
Abdichtung von Mülldeponien  
Kunststoff, Vol. 79. No. 4. pp. 352-358.
- NAÜ (1984):*  
Szilárd radioaktív hulladékok eltemetésével kapcsolatos ismérvek  
NAÜ Atomtechnikai Biztonsági Normák, No. 60.  
Országos Atomenergia Bizottság, Bp. p. 48.
- NEGUSSEY, D.-WIJEWICKREME, W.K.D.-VAID, Y.P. (1989):*  
Geomembrane interface friction  
Canadian Geotechnical Journal, 26. pp. 165-169.
- O'LEARY Ph.-WALSH, P. (1991):*  
Solid waste landfills  
Correspondence course articles reprinted from Waste Age, 1991-92. pp. 1-59.
- OAKLEY, R. (1987):*  
Design and performance of earthlined containment systems  
Geotechnical Practice for Waste Disposal '87.  
Proc. ASCE Geotechnical Special Publication, No. 13. pp. 117-136.
- OBERMAN, P.-JÄGER, B.-WILKE, F.L. (1991):*  
Studie zur Eignung von Steinkohlenbergwerken im rechtsrhein Ruhrkohlenbezirk zur Untertageverbringung von Abfall und Reststoffen

TU Berlin, Kézirat

*OLZEM, R. (1985):*

Anforderungen an die Dichtigkeit von Deponiebasisabdichtungen  
Fortschritte der Deponietechnik (Hrsg: *FEHLAU-STIEF*), Abfallwirtschaft in Forschung  
und Praxis, Band. 15. pp. 9-37. Erich Schmidt Verlag

*ORMAI P. (1995 a):*

Az atomerőművi radioaktív hulladékok tárolása  
A Természet Világa pótfüzete, 1995. január, pp. 1-9.

*ORMAI P. (1995 b):*

Az atomerőművi radioaktív hulladék átmeneti és tartós tárolásának biztonsági és  
környezeti hatásai  
Energiagazdálkodás, XXXVI. évf. 2. szám, pp. 50-53.

*OWEIS, I.S. - KHERA, R.P. (1990):*

Geotechnology of Waste Management  
Butterworths, p. 273.

*PATVAROS J. (1995):*

Nukleáris hulladéktárolók földkéregbeli létesítésével kapcsolatos bányászati feladatok  
Kézirat

*PHILIP HOLZMANN AG. (1987):*

Planen und Bauen für technischen Umweltschutz  
Cégismertető, Frankfurt

*PREGL, O. (1979):*

Geotechnische Anforderungen an Mülldeponien- Standsicherheit, Setzungsverhalten,  
Mineralisches Dichtungsmaterial  
Standortauswahl in der Abfallwirtschaft (Hrsg.: *ROHRBECK, M.*) Erich Schmidt Verlag

*QUAST, P.-HAWICKENBRAUCK, E.-SCHMIDT, M.W. (1986):*

Engineering geological and safety aspects for the final disposal of in situ consolidated  
radioactive waste in hard rock and salt formations  
Bulletin of IAEG, Nr. 34. Paris, pp. 73-85.

*QUIGLEY, R.M.-FERNANDEZ, F. (1987):*

Engineered clay liners: A short review  
Environmental Geotechnics and Problematic Soils and Rocks  
(ed.: *BALASUBRAMANIAM* et al.) Balkema, Rotterdam

*RAMKE, H.G. (1989):*

Leachate collection systems (in. Sanitary Landfilling, ed.: *CHRISTENSEN, Th.H.-  
COSSU, R.-STEGMANN, R.*), pp. 343-365. Academic Press

*RAMKE, H.G. (1991):*

Hydraulische Beurteilung und Dimensionierung der Basisentwässerung von Deponien  
fester Siedlungsabfälle  
Leichtweiss-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig, Mitteilungen, H. 114. p. 326.

*RETTENBERGER, G.-SASSE, T.-URBAN, S. (1988):*

Konzeption der Oberflächenabdichtung an der SAD Gerolsheim  
Zeitgemäße Deponietechnik II. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 29., pp.  
39-61. Erich Schmidt Verlag

*RINGWOOD, A.E. (1980):*

Safe disposal of high-level radioactive wastes  
Fortschritte Mineralogie, 58. pp. 149-168. Stuttgart

*ROLLIN, A.L.-DENIS, R. (1987):*

Geosynthetic filtration in landfill design

Conference Proc. Geosynthetics '87. Industrial Fabrics Association International, 24-25. Feb. Vol. 2. pp. 456-470.

*ROTHFUCHS, T.-DUIJVES, K.-RAYNAL, M.-HUERTAS, F. (1991):*

The HAW-project: An underground demonstration facility for the disposal of high-level waste in salt

Radioactive Waste Management and Disposal, (ed.: *CECILLE, L.*), Elsevier, pp. 403-419.

*ROWE, R.K. (1977):*

Pollutant transport through barriers

Geotechnical Practice for Waste Disposal, ASCE Spec. Publ. 13. pp. 159-181.

*ROWE, R.K. (1992):*

Some challenging applications of geotextiles in filtration and drainage

Proc. of the Conference Geofad '92. (ed. *CORBET, S.-KING J.*), pp. 1-39. Thomas Telford, London

*SANCHEZ-ALCITTURI, I.M.-PALMA, I.-SAGESTA, C.-CANIZAL, I. (1993):*

Mechanical properties of wastes in a sanitary landfill.

Proc. Int. Conf. Green '93, Bolton University, Bolton  
Balkema, Rotterdam

*SÁNDOR CS. (1995):*

Hulladéklerakók alatti süllyedések meghatározása

Miskolci Egyetem, diplomaterv. Kézirat

*SÁNDOR CS.-KOVÁCS B.-SZABÓ I. (1995):*

Süllyedésszámítás depóniatestek alatt

A Miskolci Egyetem Közleményei, A sorozat, Bányászat, 50. kötet, pp. 245-255.

*SCHAKELFORD, CH. D. (1990):*

Transit time design of earthen barriers

Engineering Geology, 29. pp. 79-94.

*SCHENKEL, W. (1974):*

Die geordnete Deponie von festen Abfallstoffen. Theoretische Grundlagen und praktische Durchführung

Beihefte zu Müll und Abfall, H.9. Erich Schmidt Verlag

*SCHICKETANZ, R. (1992):*

Der Qualitätssicherungsplan für die Herstellung von Kombinationsdichtungen

Fortschritte der Deponietechnik, 1992. (Hrsg: *FEHLAU, K.P.-STIEF, K.*), pp. 159-176.

Erich Schmidt Verlag

*SCHLÜTTER, A. (1985):*

Konstruktive Hinweise für die Ausführung von Deponiebasisabdichtungen mit Kunststoffdichtungsbahnen

Beihefte zu Müll und Abfall, H.22. Erich Schmidt Verlag

*SCHMID, G. (1992):*

Deponietechnik

Vogel Buchverlag

*SCHNEIDER, G. (1988. a):*

Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes von mineralischen Dichtungsschichten aus in-situ Versuchen

Bautechnik, H.12. pp. 424-426.

*SCHNEIDER, H.J. (1988. b):*

Geotechnische Anforderungen an Untertage-Deponien in Bergwerken, Fels- und Salzkavernen zur Zwischen- oder Endlagerung von Sonderabfällen

*THOME-KOZMIENSKY* (Hrsg): Behandlung von Sonderabfällen 2. pp. 1064-1079. EF-Verlag, Berlin

*SCHÖNIAN, E. (1991):*

Asphaltbeton-Dichtungen im Deponiebau

Müll und Abfall, 1. pp. 12-19.

*SCHUHBAUER, A. (1994):*

Asphaltbeton als Basisabdichtung von Deponien

Bautechnik, 71. H.9. pp. 566-581.

*SINGH, S.-MURPHY, B.J. (1990):*

Evaluation of the stability of sanitary landfills

Geotechnics of Waste Fills (ed.: *LANDVA, A.-KNOWLES, D.*) ASTM-STP 1070, pp. 240-258.

*SKOPEK, J. (1968):*

Dammbruch einer Lagerstätte

2. Donau-Europäische Konferenz für Grundbau und Bodenmechanik, Band 2. Wien

*STEFFEN, H. (1986):*

Vergleichende Betrachtung zur Wirksamkeit von kombinierten und doppelten Dichtungssystemen

Fortschritte der Deponietechnik (Hrsg.: *STIEF-FEHLAU*), Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 16. pp. 89.-102. Erich Schmidt Verlag

*STIEF, K. (1985)*

Anforderungen an die Wirksamkeit von Deponiebasisabdichtungen

Deponiebasisabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen

Beihefte zu Müll und Abfall, H.22. pp. 9-13.

*STIEF, K. (1986. a):*

Sohlabdichtungssysteme für Deponien

Anforderungen an Mülldeponien. Grundlagen zum Richtlinienentwurf, 7. Seminar

Abfallwirtschaft an der TU Wien Abfallwirtschaft, Band 7. Wien, pp. 85-99.

*STIEF, K. (1986. b):*

Das Multibarrierenkonzept als Grundlage von Planungen, Bau, Betrieb und Nachsorge von Deponien

Müll und Abfall, 1. pp. 15-20.

*STORK, W. (1987):*

Untertagedeponien in Nordrhein-Westfalen

Wasser und Boden, No. 4. pp. 175-177.

*STROH, D. - BIENER, E. (1988):*

Erfahrungen bei der Altlastensanierung

Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 38. Jg. H. 9. pp. 724-731.

- SZABÓ I. (1994. a):*  
A hulladéklerakók aljzatszigetelőrendszerének kialakítása  
Műszaki irányelv tervezet. Kézirat
- SZABÓ I. (1994. b):*  
A hódmezővásárhelyi kommunális hulladéklerakóhely talajmechanikai szakvéleménye  
ME. Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék. Kézirat.
- SZÉCHY K.-VARGA L. (1971):*  
Alapozás  
Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- SZEPESY J. (1991):*  
A hulladéktárolók szigetelése - az agyagszigetelések egyes kérdései  
Hidrológiai Közlöny, 71. évf. 1. sz. pp. 51-56.
- SZINAY, M. (1990):*  
Hulladéktárolók szigetelési rendszerei és szivárgásellenőrzése  
ÉGSZI Gyorsjelentés, XXIV. évf. 17. pp. 19-23.
- TATZKY, R. (1985):*  
Ermittlung und Beurteilung von Restdurchlässigkeiten bei Kunststoffdichtungsbahnen  
Deponieabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen  
Beihefte zu Müll und Abfall, H.22. pp. 75-80.
- TCHOBANOGLOUS, G.-THEISEN, H.-VIGIL, S. (1993):*  
Integrated solid waste management  
Mc Graw-Hill Inc., p. 913.
- TEFERA, A-SCHULTZE, E. (1988):*  
Formeln, Tafeln und Tabellen aus dem Gebiet Grundbau und Bodenmechanik  
Balkema, Rotterdam, p. 291.
- THOME-KOZMIENSKY, K.J. (1987):*  
Deponie. Ablagerung von Abfällen  
EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH.
- US. EPA (1985):*  
Minimum technology guidance on double liner systems for landfills and surface  
impoundments Design, construction and operation (Second version)
- VAN IMPE, W.F.-BOUAZZA, A. (1995):*  
Fundamentals of Environmental Geotechnics  
(Előkészületben, kézirat)
- VASS GY. (1979):*  
Hulladékok elhelyezése bányászati térségekben  
Mérnökgeológiai Szemle, 32. sz. pp. 87-92
- VIRÁGH E. (1991):*  
Radioaktív hulladékok fajtái, keletkezése és elhelyezése  
Környezetvédelmi Füzetek, 14. sz.
- WIEDEMANN, H.U. (1985):*  
Analyse der amerikanischen Anforderungen an Deponien für gefährliche Abfälle  
Müll und Abfall, H.2. pp. 33-37
- WIEMER, K. (1987):*  
Grundlagen zur Abdichtung und Kapselung von Deponien  
Deponie-Ablagerung von Abfällen (Hrsg.: THOME KOZMIENSKY), pp. 397-418. EF-  
Verlag



*WIND, H. (1987):*

Wesentliche Merkmale der Sicherheits Deponien-System Holzmann  
Deponie-Ablagerung von Abfällen (Hrsg.: *THOME-KOZMIENSKY*), pp. 828-846. EF-Verlag

*WONG, J. (1977):*

The design of a system for collecting leachate from a lined landfill site  
Water Resources Research, Vol. 13. No. 2. pp. 404-410.

*WRIGHT, TH.D. - ROSS, D.E., - TAGAVA, L. (1988):*

Hazardous waste landfill construction: the state of the art  
Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal (ed.: *FREMANN, H. M.*), pp. 10.1-10.23.

McGraw Hill Book Comp.

*ZHU, J.L.-CHAN, C.Y. (1989):*

Radioactive waste management: world overview  
IAEA Bulletin, 31. k. 4. sz. pp. 5-13.

## 7. FEJEZET

### A HULLADÉKLERAKÓBAN LEJÁTSZÓDÓ FOLYAMATOK

Mint tudjuk, a lerakóba kerülő hulladék többnyire rendkívül heterogén, ami fizikai és kémiai értelemben is igaz (méret, alak, tömeg, térfogatsűrűség, összetétel, nedvességtartalom, reakcióképesség, stb.), és ez a heterogén anyag a kiindulópontja annak a hosszú homogenizálódási folyamatnak, amelynek során az *anyag mechanikai és fiziko-kémiai értelemben is konszolidálódik*.

#### 7.1. A hulladék konszolidációja

A hulladék várható konszolidációjának az ismerete igen fontos, mert a deformációkat figyelembe kell venni mind a zárószigetelő rendszer, mind a gázgyűjtő rendszer mechanikai méretezésénél, kialakításánál. Sajnos ma még nem áll rendelkezésre kellő mennyiségű tapasztalat, amely lehetővé tenné a pontos számításokat. A hulladék várható összenyomódását elméletileg a talajmechanikából jól ismert konszolidációs elmélettel közelítjük, azonban figyelembe kell venni, hogy a hulladék:

- a szokásos talajokhoz képest lényegesen változatosabb, inhomogénebb;
- a fizikai paramétereinek pontos meghatározása lényegesen nehezebb.

A fentiekén túl nehezíti a problémát, hogy a hulladék konszolidációja nemcsak a *mechanikai terhelés (önsúly) hatására bekövetkező tömörödés*, hanem a különböző alkotórészek *kémiai-biológiai lebomlásával rendszerint együttjáró térfogatcsökkenés eredménye is*.

A süllyedés várható mértékét mint látjuk számos tényező befolyásolja, amelyek a következők:

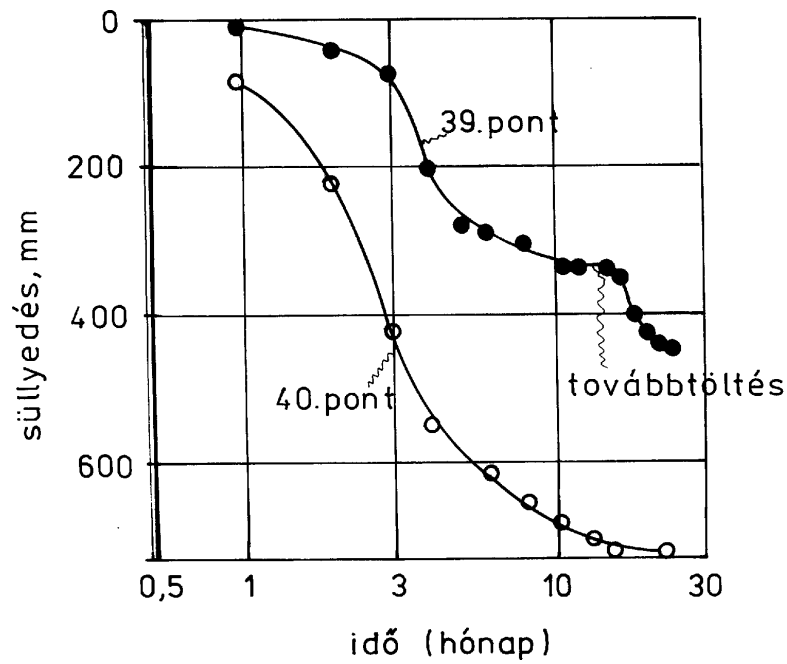
- a lerakott hulladék kezdeti tömörsége, hézagtenyezője, térfogatsűrűsége;
- a feltöltés magassága;
- a biológiai le- ill. nem lebomló hulladékmennyiség aránya;
- a hulladék lerakás előtti és közbeni kezelése;
- a csurgalékvíz szintje, ingadozása;
- környezeti tényezők (nedvességtartalom, hőmérséklet, a biogázképződés folyamata, fázisa).

A konszolidáció már a lerakó feltöltése során elkezdődik. A süllyedések időbeni alakulását szemléltetik a **7.1.-7.2. ábrák**.

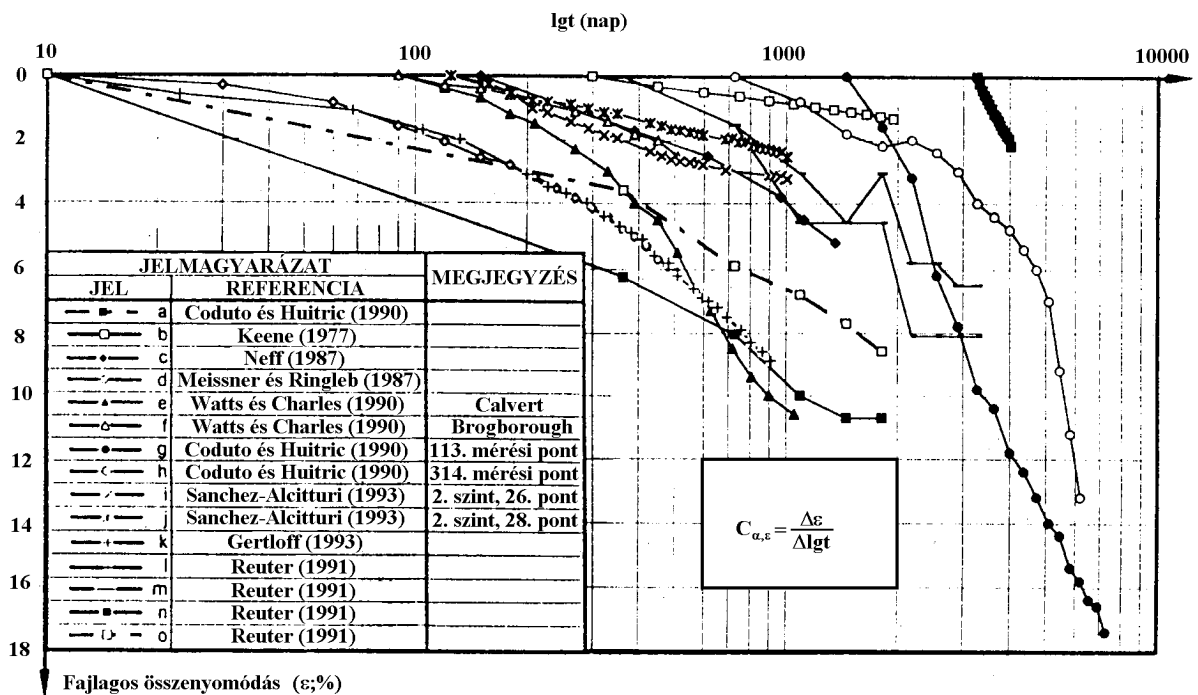
A süllyedések üteme az idő előrehaladtával lassul. A kezdeti szakaszban az önsúly hatására bekövetkező süllyedések dominálnak (*elsődleges konszolidáció*), mértéke általában 5-30 %-a a feltöltési vastagságnak, és a süllyedések zöme a feltöltés utáni első évben lejátszódik.

Az elsődleges konszolidációt követi a *másodlagos konszolidáció* szakasza, ami egy időben hosszan elnyúló, a hulladékban lejátszódó folyamatoktól is jelentősen függő folyamat.

A *hulladék várható süllyedésének* meghatározására számos javaslat ismert, általában mindegyik megegyezik abban, hogy a végső süllyedéseket két részre bontja: egy *terhelés* és egy *időfüggő szakaszra*, s az eredmény a kettő összegződéséből adódik. Használjuk azonban bármely javasolt módszert is, soha ne feledjük, hogy a kapott eredmény csak egy igen durva közelítés, becslés.

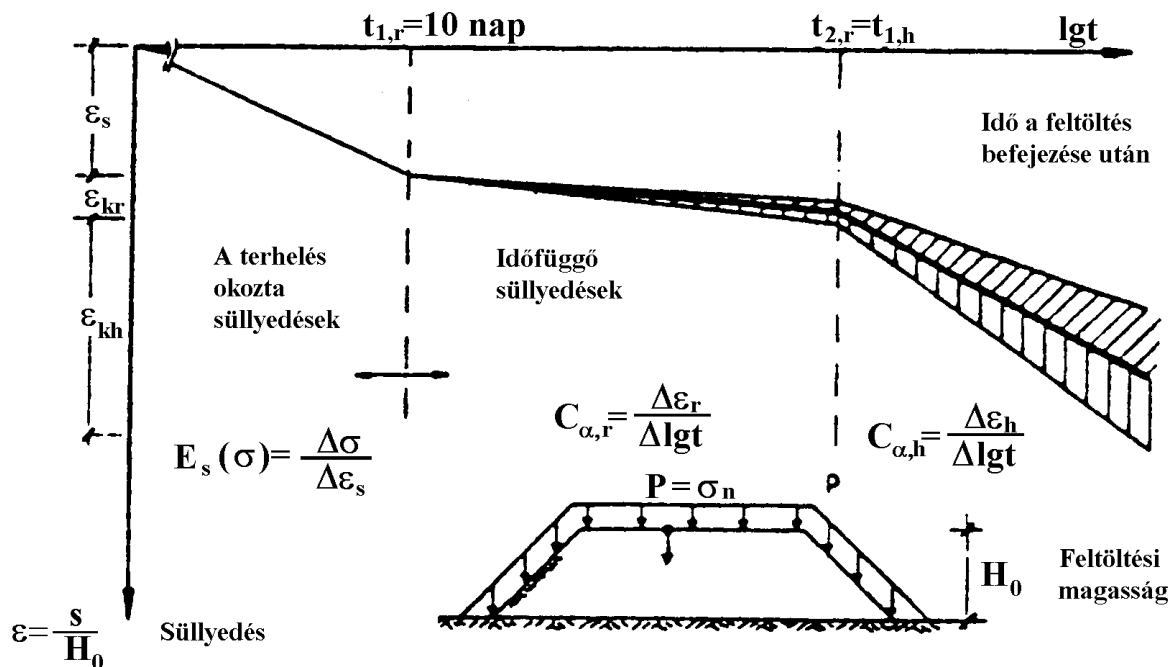


7.1. ábra.  
Egy hulladéklerakó jellemző konszolidációs görbéje  
(OWEIS - KHERA, 1990.)



7.2. ábra  
Különböző lerakóknál mért felszínsüllyedések  
(KÖNIG et al., 1996.)

A 7.3. ábra a kommunális hulladékok idealizált süllyedés-idő görbéjét tünteti fel, KÖNIG és munkatársai (1996.) működő és már bezárt depóniákon végzett mérései alapján.



7.3. ábra

A kommunális hulladékok idealizált süllyedés-idő görbéje  
(KÖNIG et al., 1996.)

A várható süllyedéseket a következőképpen becsülhetjük:

- *a terhelés okozta süllyedések*: igen rövid idő alatt lejátszódó, a hulladék önsúlyából adódó terheléssel arányos süllyedések

$$s_s = \sigma_h \int_0^{H_0} \frac{dz}{E_s(\sigma)} \quad (7.1.)$$

ahol:

$\sigma_h$ : a hulladék önsúlyából adódó hatékony normálfeszültség

$E_s(\sigma)$ : a hulladékra jellemző, az előterheléstől függő *összenyomódási modulus*

- *az időarányos süllyedéseket* a másodlagos konszolidáció számításából jól ismert alábbi összefüggésből becsülhetjük:

$$s_k = C_{\alpha,\varepsilon} \cdot H_0 \cdot \lg \frac{t_1}{t_2} \quad (7.2.)$$

ahol:

$C_{\alpha,\varepsilon}$ : a hulladéokra jellemző másodlagos konszolidációs együttható  
 $t_1$  és  $t_2$ : a vizsgált időintervallum  
 $H_0$ : a feltöltés magassága

Tekintettel arra, hogy a másodlagos konszolidáció üteme nagymértékben függ a lerakó bezárása óta eltelt időtől, KÖNIG és szerzőtársai a másodlagos konszolidáció szakaszát további két részre javasolják bontani:

= *a rövid idejű másodlagos konszolidációs süllyedések szakaszát egy laposabb süllyedés-idő görbe jellemzi (l. 7.3. ábrán), és meghatározása az*

$$s_{k,r} = H_0 \cdot C_{\alpha,\varepsilon}^r \cdot \lg \frac{t_{i,r}}{t_{1,r}} \quad (7.3.)$$

összefüggés alapján történhet, ahol:

$t_{i,r}$ : a feltöltés befejezése után eltelt idő ( $10 \text{ nap} < t_{i,r} < t_{2,r}$ )  
 $t_{1,r}$ : a rövid idejű süllyedések kezdete ( $t_{1,r} \approx 10 \text{ nap}$ )  
 $t_{2,r}$ : a rövid idejű süllyedések vége  
 $C_{\alpha,\varepsilon}^r$ : a friss hulladékokra jellemző másodlagos konszolidációs együttható

= *a hosszú idejű másodlagos konszolidációs süllyedések szakaszát egy meredekebb süllyedés-idő görbe jellemzi, és meghatározása a fentiek analógiája alapján:*

$$s_{k,h} = H_0 \cdot C_{\alpha,\varepsilon}^h \cdot \lg \frac{t_{i,h}}{t_{1,h}} \quad (7.4.)$$

ahol a már ismert jelöléseken túl:

$C_{\alpha,\varepsilon}^h$ : az érett hulladékokra jellemző másodlagos konszolidációs együttható

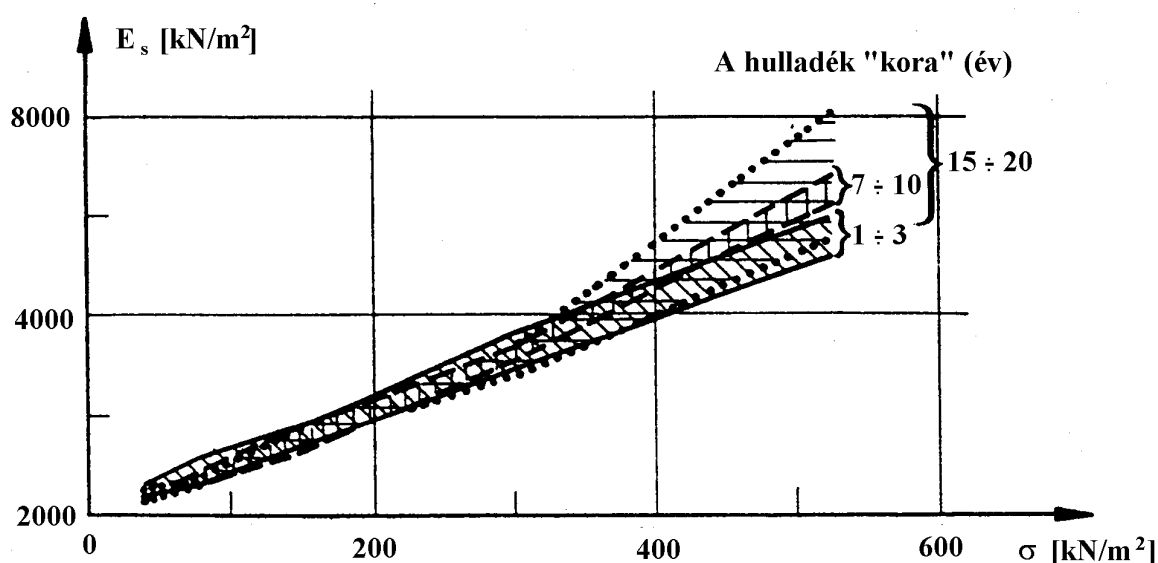
A  $t_{i,h}$  idő múlva bekövetkező teljes (összegzett) süllyedés:

$$s_{\bar{o}} = s_s + s_{k,r} + s_{k,h} \quad (7.5.)$$

A 7.1.-7.4. összefüggések a talajmechanikából jól ismertek, elméletileg igazak. A becsült süllyedés értékének a megbízhatósága elsősorban a hulladékokra vonatkozó fizikai paraméterek pontosságától függ. Ezen a téren sajnos még elég kevés adattal rendelkezünk, hiszen részben nagyon költséges *laboratóriumi* és nagyon hosszú időintervallumot átfogó *helyszíni mérésekre* lenne szükség.

A terhelés okozta süllyedések számításához a hulladéokra jellemző *összenyomódási modulus* értékre van szükségünk, amit általában nagyméretű laboratóriumi kompressziós kísérletek (7.4. **ábra**) adataira támaszkodva nyerhetünk, amennyiben saját mérési adattal nem rendelkezünk. Megállapítható, hogy az összenyomódási modulus ( $E_s$ ) értéke erősen függ az alkalmazott normálfeszültség ( $\sigma_n$ ) értékétől, és általában a következő formában írható fel:

$$E_s = a + b \cdot \sigma_n \quad (7.6.)$$



7.4. ábra

Különböző korú hulladékokon nagyméretű kompressziós kísérlettel meghatározott összenyomódási modulus értékek (JESSBERGER-KOCKEL, 1993.)

KÖNIG (1996.) mintegy 21 különböző németországi lerakón végzett vizsgálatai alapján azt kapta, hogy

$$E_{s,\min} \text{ (MPa)} = -0,294 + 10,9 \cdot \sigma_n$$

$$E_{s,\max} \text{ (MPa)} = -0,106 + 12,5 \cdot \sigma_n$$

A másodlagos konszolidáció alatt bekövetkező süllyedések becslésére szolgáló 7.3.-7.4. összefüggésekben szereplő másodlagos konszolidációs együttható ill. időintervallumok értékére KÖNIG (1996.) a 7.1. táblázatban szereplő értékeket mérte és javasolta.

7.1. táblázat

| <i>A másodlagos konszolidáció együtthatójának és szakaszainak jellemző értékei helyszíni mérések alapján (KÖNIG, 1996.)</i> |                         |                         |                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|
|                                                                                                                             | $C_{\alpha,\epsilon}^r$ | $C_{\alpha,\epsilon}^h$ | $t_{2,r} = t_{1,h}$ |
|                                                                                                                             | (-)                     | (-)                     | (nap)               |
| A mérések száma                                                                                                             | 16                      | 20                      | 20                  |
| Átlag                                                                                                                       | 0,03                    | 0,102                   | 425                 |
| Szórás                                                                                                                      | 0,017                   | 0,077                   | 472                 |
| A 95%-os konfidencia intervallumhoz tartozó felső érték                                                                     | 0,039                   | 0,138                   | 645                 |
| A 95%-os konfidencia intervallumhoz tartozó alsó érték                                                                      | 0,021                   | 0,066                   | 204                 |

Felhasználhatjuk a számításainkhoz a **7.2. táblázatban** szereplő értékeket is (OWEIS-KHERA, 1990.). Ekkor célszerű a 7.2. összefüggéssel számítani a másodlagos konszolidáció okozta süllyedéseket, de figyelembe kell venni a kúszási (másodlagos konszolidációs) index ( $C_\alpha$ ) és másodlagos konszolidációs együttható ( $C_{\alpha,\varepsilon}$ ) közötti alábbi összefüggést:

$$C_{\alpha,\varepsilon} = \frac{C_\alpha}{1 + e_0}$$

7.2. táblázat

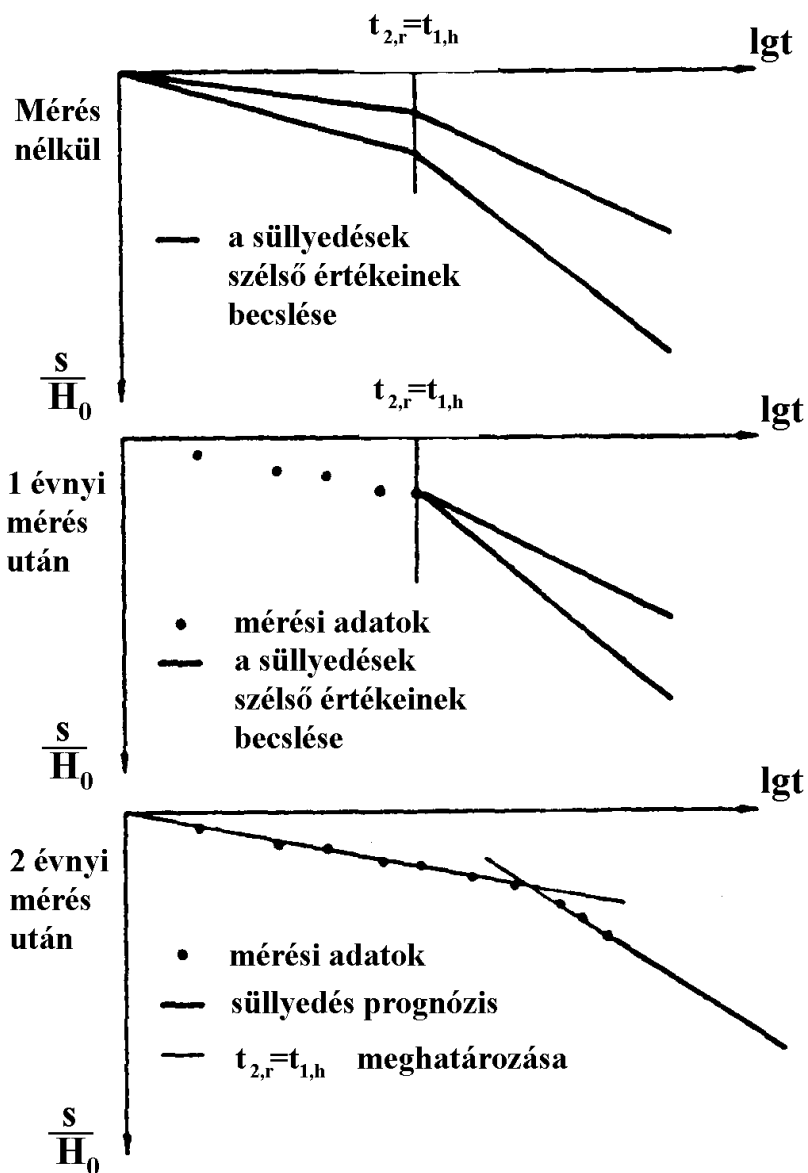
| <i>Kommunális hulladék-lerakók esetén mért kompressziós index (<math>C_c</math>) és kúszási index (<math>C_\alpha</math>) értékek<br/>(OWEIS-KHERA, 1990.)</i> |            |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|
| Lerakó                                                                                                                                                         | $C_c$      | $C_\alpha$ |
| 15 éves lerakó (Boston, Massachusetts)                                                                                                                         | 0,26 $e_0$ | 0,24       |
| Laboratóriumi vizsgálat                                                                                                                                        |            | 0,30       |
| Régi lerakó, (NY-Virginia)                                                                                                                                     |            | 0,04       |
| Kis szervesanyag tartalmú lerakó                                                                                                                               | 0,15 $e_0$ | 0,024      |
| Nagy szervesanyag tartalmú lerakó                                                                                                                              | 0,55 $e_0$ | 0,072      |
| Kommunális hulladék-lerakó (Melbourne)                                                                                                                         | 0,1 $e_0$  | 0,06       |
| 15-20 éves lerakó (Michigan)                                                                                                                                   |            | 0,02       |
| 10 éves lerakó (Elizabeth New-Jersey)                                                                                                                          |            | 0,02       |
| Harrison lerakó (New Jersey)                                                                                                                                   | 0,25 $e_0$ |            |
| Újratömörített háztartási hulladék-talaj keverék                                                                                                               |            | 0,14-0,034 |

$e_0$ : a lerakott hulladék kezdeti hézagtenyezője

Tapasztalataik alapján a következő átlagértékek jellemzőek a kommunális hulladékokra:

- konszolidációs együttható  $c_c = 0,015 - 0,5 \text{ m}^2/\text{d}$
- kompressziós index  $C_c = (0,15 \div 0,25) e_0$
- kúszási index (friss lerakó)  $C_\alpha = 0,13 - 0,32$
- kúszási index (10 év elteltével)  $C_\alpha = 0,01 - 0,02$

Pontosíthatjuk a prognózisunkat, ha a depónia feltöltése után megkezdjük a felszínsüllyedések mérését, és a kezdeti mérések adataira támaszkodva adjuk meg a várható süllyedéseket. Minél hosszabb mérési idősorra támaszkodunk, annál pontosabb lesz a becslésünk. A süllyedés-előrejelzés menetét ebben az esetben a 7.5. ábra szemlélteti..



7.5. ábra

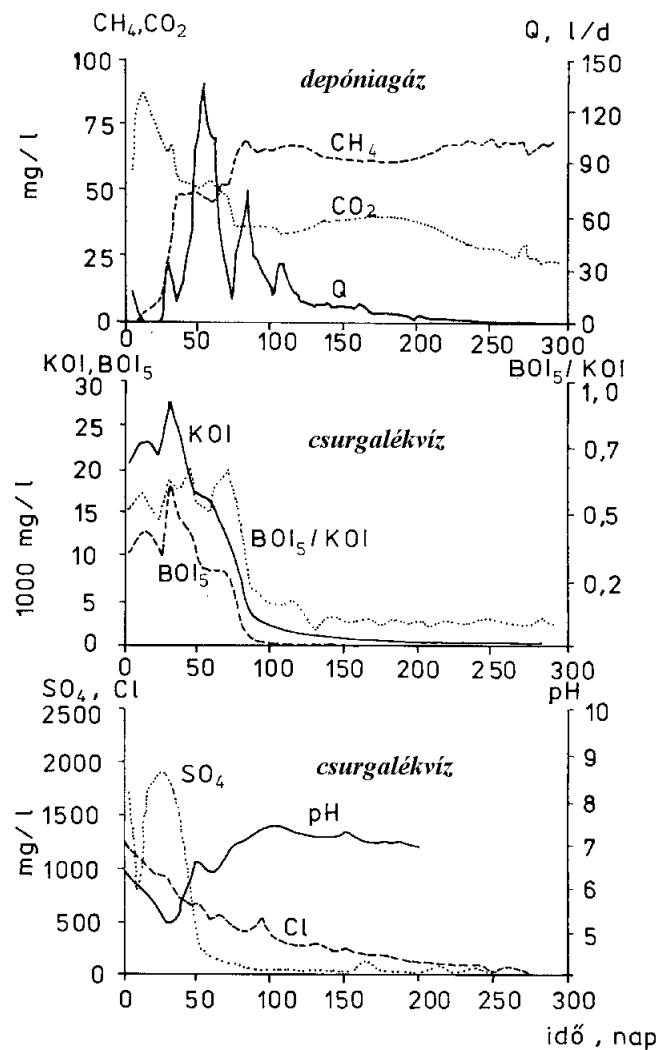
A várható süllyedések előrejelzése mérési adatokra támaszkodva (KÖNIG et al., 1996.)



## 7.2. A biogázképződés

A deponált anyag a környezeti hatások és a hulladéktömeg konszolidációjának hatására átalakul. Az átalakulás egy dezintegrációs bomlási folyamat, amit befolyásol az atmoszféra (az oxigén jelenléte vagy hiánya), a depóniára hulló, illetve bejutó csapadék mennyisége, a hulladék nedvességtartalma, összetétele, homogenitása, a tárolóter maassága, a depónia kialakítása és a mikroorganizmusok tevékenysége. A külső hőmérséklet csak a felső rétegekre gyakorol hatást, mélyebben már a biokémiai reakciók által beállított hőmérséklet uralkodik.

A hulladékok transzformációs folyamatainak tárgyalásakor különbséget kell tennünk *lebomló* és *nem lebomló* anyagok között (KISS, 1992.). A lebomló csoportba tartoznak a növényi, állati és ételmaradványok, fa, papír, cellulóz és bőryanagok, textiliák, gyapjú, stb. A nem lebomló (inert) anyagok csoportjába tartozik a fém, az üveg, az építési törmelék és a műanyagok döntő többsége.

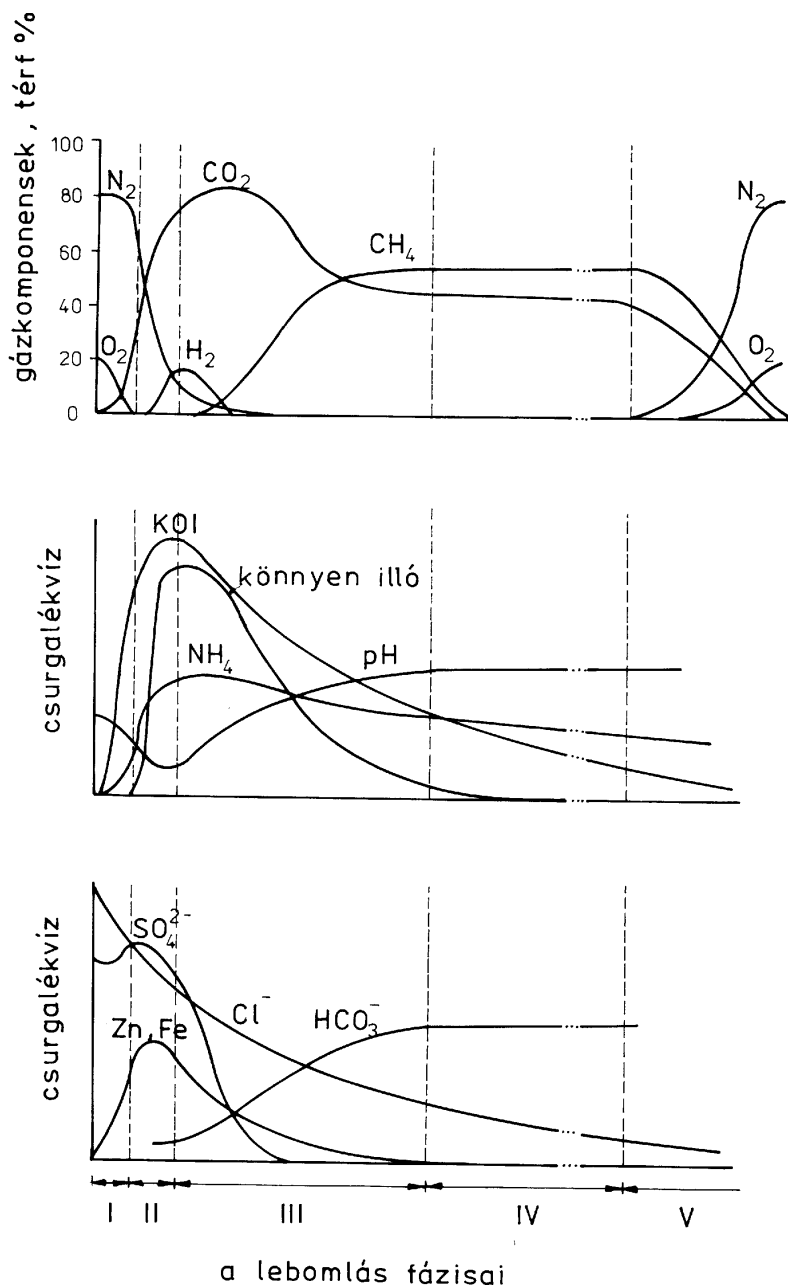


7.6. ábra

A depóniagáz és csurgalékvíz összetevőinek időbeni alakulása laboratóriumi vizsgálatok alapján (STEGMANN - SPENDLIN, 1985.)

7.2.1. A hulladéklebomlási folyamat

A hulladéklebomlási folyamat eredményeként *biogáz* és *csurgalékvíz* keletkezik. Laboratóriumi mérések (7.6. ábra, STEGMAN-SPENDLIN, 1985.) és tapasztalatok alapján a *lebomlási folyamatot* öt jellegzetes fázisra osztják, amit a 7.7. ábra szemléltet CHRISTENSEN-KJELDSEN (1989.) nyomán.



7.7. ábra

A depóniagáz és csurgalékvíz összetevőinek alakulása a lebomlási fázisban

I.: aerob lebomlás;

II-IV.: anaerob lebomlás

(CHRISTENSEN - KJELDSEN, 1989.)

### Az aerob lebomlás (I. fázis)

Az **I. fázis** egy rövid abiotikus szakasz rögtön a hulladék elhelyezése után, amikor a rendelkezésre álló oxigén (levegő) mellett a hulladékban jelenlevő, vagy kívülről származó mikroorganizmusok a szerves anyag *aerob lebontását* végzik. A folyamatot részben a depóniában csapdázódott levegő, a felszínközeli rétegeknél pedig az atmoszférából bejutó oxigén táplálja. Az aerob fermentáció eredménye a *szén-dioxid*, az *ammónia* és a *víz*, illetve az egyéb alkotórészek oxidációs termékei. A folyamat fontos tényezője a nedvesség, ami a mikroorganizmusok számára 60%-nál optimális. A nedvesség egyaránt származhat magából a hulladékból, vagy a depóniába bejutó csapadékból történő utánpótlódásból. A folyamat *exoterm*, és a lezárást követő néhány nap ill. hét alatt a hőmérséklet elérheti a 60-70°C-ot is. A nagy hőmérséklet gyakran öngyulladásához is vezethet. A depónia átlagos belső hőmérséklete ebben a fázisban 40-60°C.

### Az anaerob lebomlás fázisai (II-V)

A biogázképződés körülményeit az *anaerob (oxigénmentes)* lebomlás jellemzi, a számára kedvező, elsősorban közepes (30-75°C) hőmérséklet tartományban. A biogázképződés (termelés) szempontjából a legfontosabb három fő vegyületcsoport (a *szénhidrátok*, *fehérjék*, és a *zsírok*) anaerob erjedési-lebomlási folyamatát a **7.8-7.10. ábrák** szemléltetik BÁNHEGYI (1993.) munkája nyomán.

*Az anaerob lebomlás kezdeti szakaszában* (II. fázis a 7.7. ábrán) illékony zsírsavak, szén-dioxid és hidrogén keletkezik az erjesztő és acetogén baktériumok hatására. A savas kémhatású csurgalékvíz (a pH alakulását lásd a 7.7. ábrán) nagy koncentrációban tartalmazhat zsírsavakat, kalciumot, vasat, nehézfémeket és ammóniát.

A gáz nitrogéntartalma csökken a szén-dioxid- és hidrogénképződés következtében. A redoxipotenciál csökkenésével a kezdeti magas szulfát tartalom lassan lecsökken. A keletkező szulfid kicsapja a vasat, mangánt és a nehézfém elemeket, amelyek eddig oldott állapotban voltak.

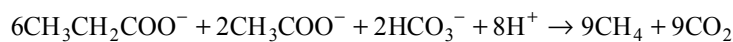
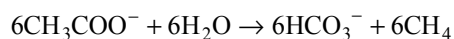
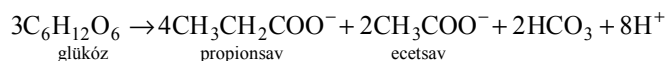
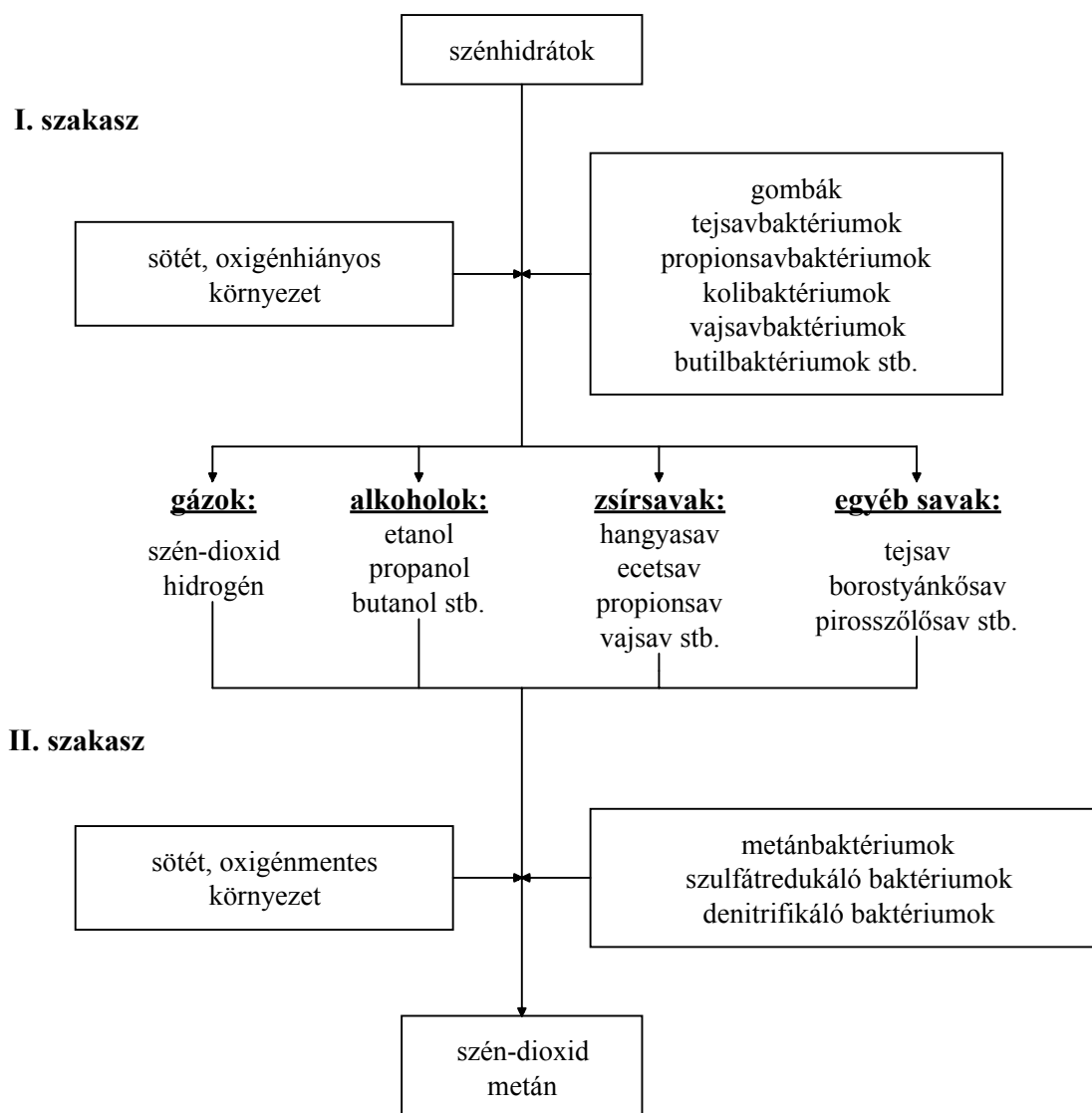
*A III., ún. második közbülső anaerob fázis* a metanogén baktériumok lassú növekedésével kezdődik. A metánkoncentráció nő, mialatt a hidrogén, a szén-dioxid és a zsírsavak koncentrációja csökken.

Tovább csökken a szulfátkoncentráció a folytatódó szulfátredukció révén. A zsírsavak átalakulása a pH és alkalitás (lúgosság) növekedésével jár, ami a kalcium, a vas, a mangán és a nehézfémek oldhatóságának a csökkenését vonja maga után, amelyek később valószínűleg szulfidokként csapódnak ki. Továbbra is szabadul fel ammónia, ami az anaerob környezetben nem alakul át.

*A IV., ún. metán fázisban* 50-60% metántartalomnál stabilizálódik a gázképződés, ami a zsírsavak és a hidrogén alacsony szinten történő tartását eredményezi.

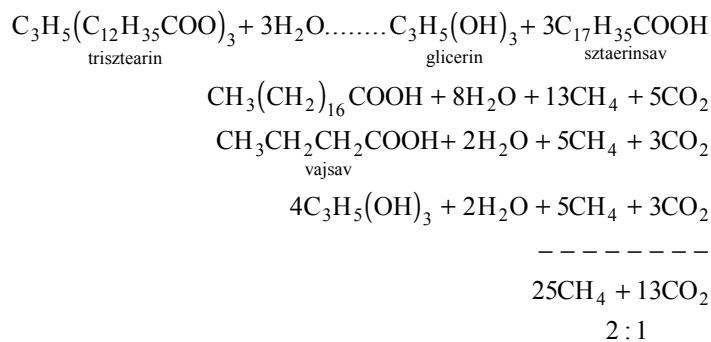
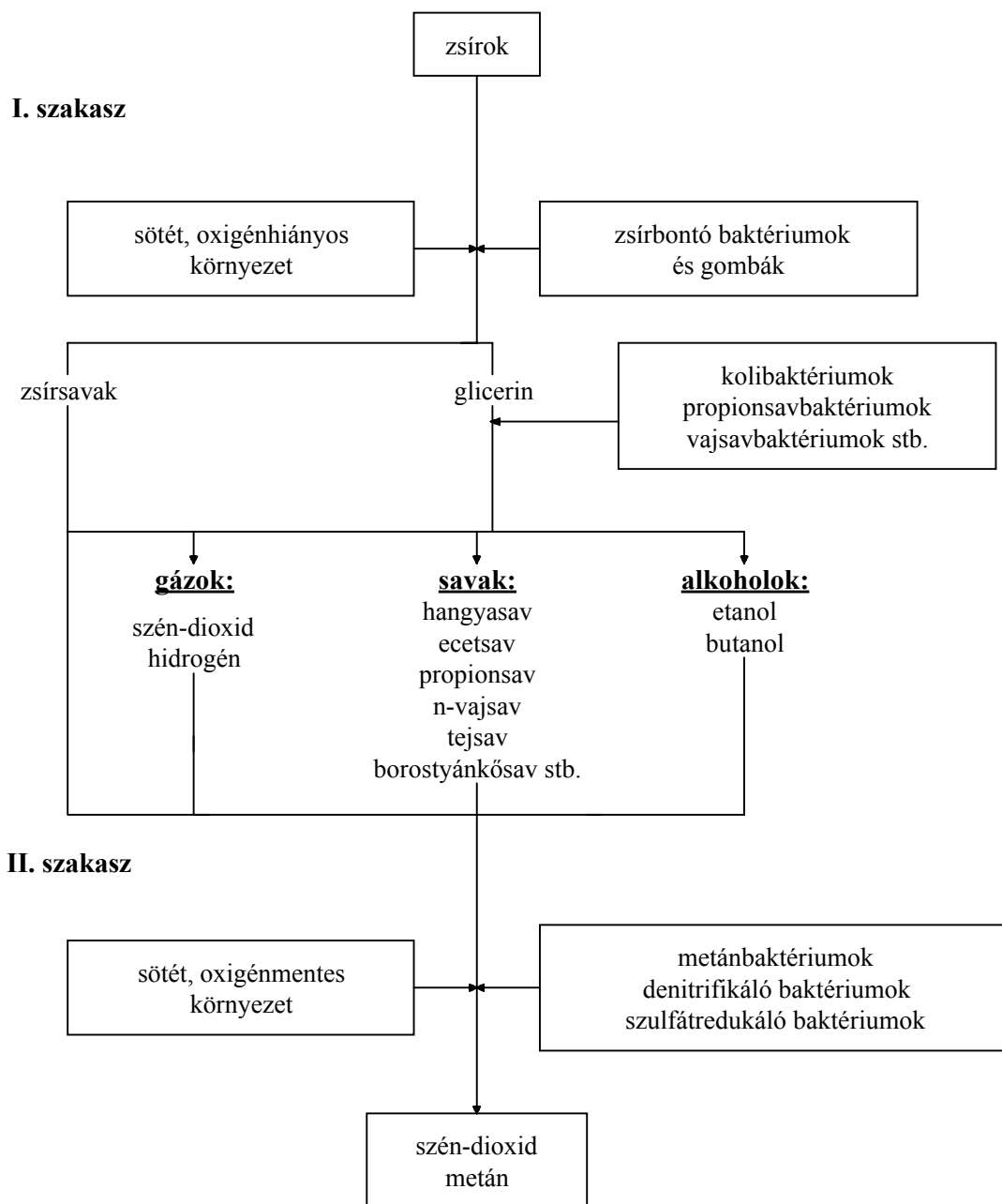
*Az V. fázisban* csak az ellenálló szerves szén marad az elhelyezett hulladékban. A metántermelődés jelentősen visszaesik, koncentrációja olyan kicsi lesz, hogy nitrogén jelenik meg a gázokban a légköri diffúzió miatt. Aerob zónák és a metán képződéshez túl magas redoxipotenciálú zónák jelennek meg a felső rétegekben.

A depóniában lejátszódó folyamatok követelményeit és következményeit a 7.3. táblázat, a keletkező gázok összetételének jellemző értékeit a 7.4. táblázat foglalja össze.



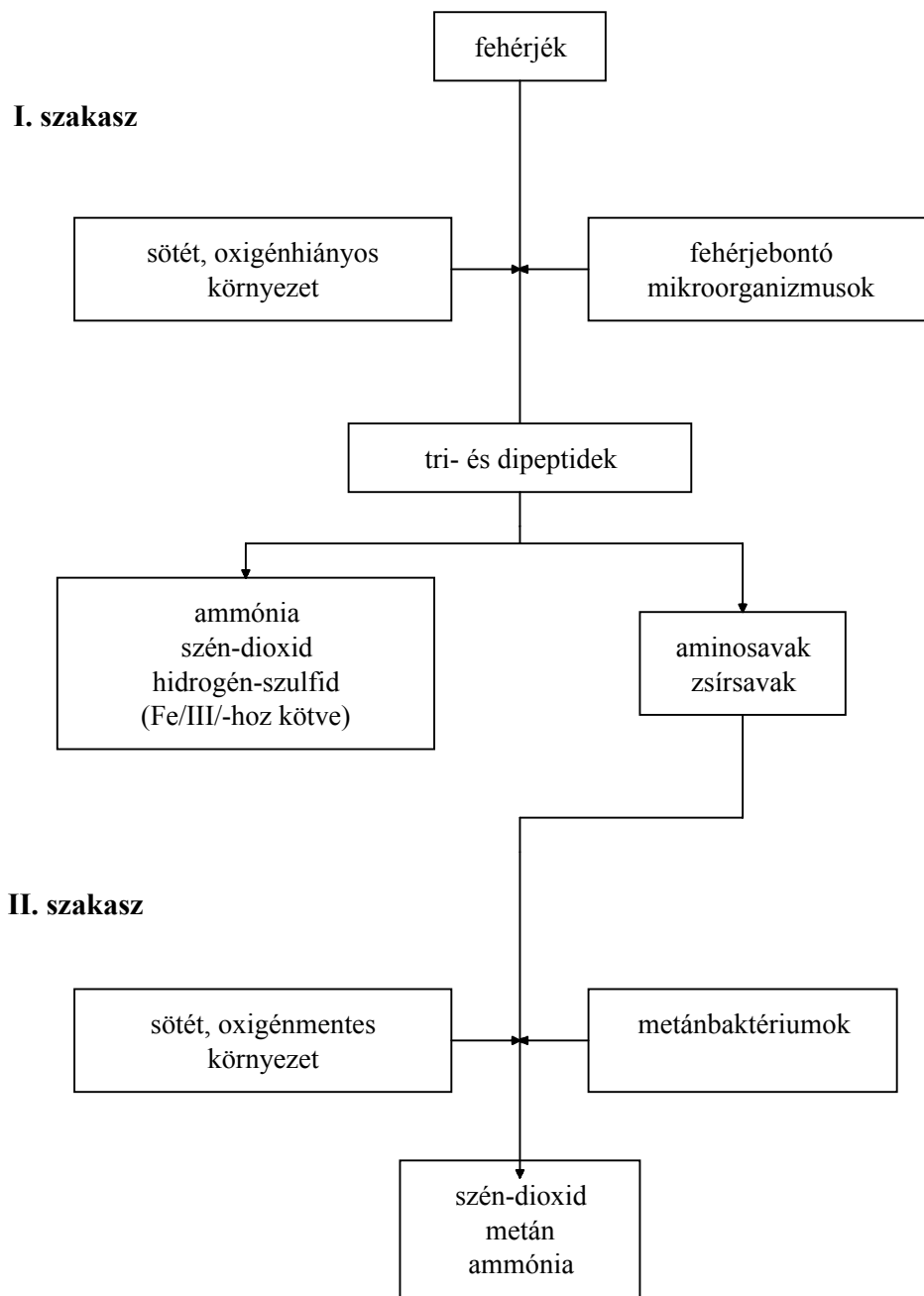
**7.8. ábra**

A szénhidrátok anaerob lebontásának vázlata és egyszerűsített kémiai képlete  
(BÁNHEGYI, 1993.)

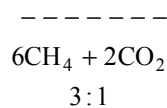
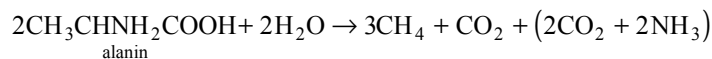
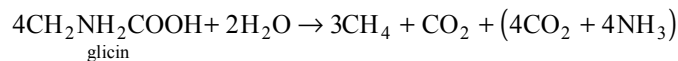


7.9. ábra

A zsírok anaerob lebontásának vázlatja és egyszerűsített kémiai képlete (BÁNHEGYI, 1993.)



fehérje aminosavak + zsírsavak



**7.10. ábra**

A fehérjék anaerob lebontásának vázlata és egyszerűsített kémiai képlete (BÁNHEGYI, 1993.)

7.3. táblázat

| <i>A depóniában lejátszódó folyamatok követelményei és következményei (KISS, 1992.)</i> |                                                      |                                                                       |                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| folyamat                                                                                | anaerob bomlás                                       | aerob bomlás                                                          | átmosódás                                                                              |
| követelmények                                                                           | levegőhiány<br>a hulladék nedvességtartalma          | rendelkezésre álló oxigén<br>kevesebb nedvesség                       | a depóniát érő csapadék<br>permeábilis fedőréteg                                       |
| következmények                                                                          | szilárdulás<br>oldhatóság csökken                    | szivacsos szerkezet<br>oldhatóság nő                                  | áteresztőképesség nő<br>szalinitás, oldott anyag-<br>tartalom lefelé nő<br>(bemosódás) |
|                                                                                         | tömörödés, ásványosodás                              |                                                                       |                                                                                        |
| termékek                                                                                | CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S | CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O szerves<br>savak | csurgalékvíz                                                                           |

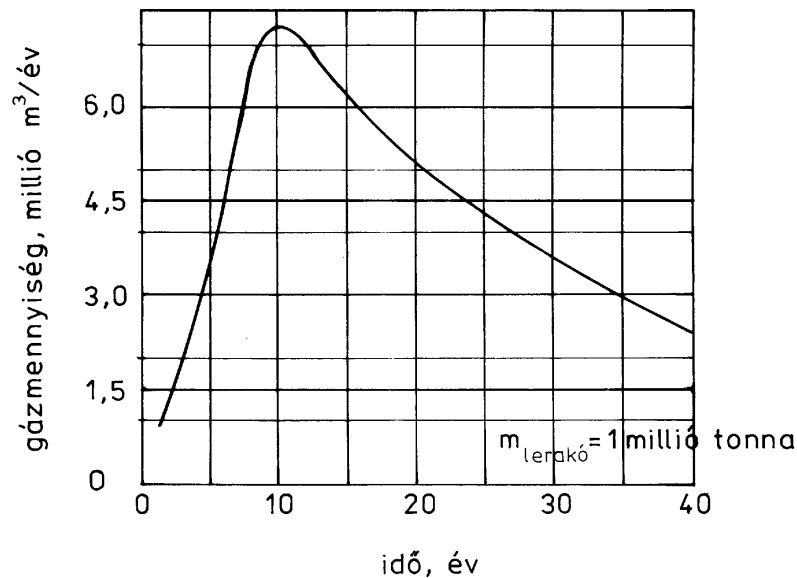
7.4. táblázat

| <i>A depóniagáz összetétele és az egyes komponensek koncentrációjának jellemző értékei (BILITEWSKI et al., 1990.)</i> |                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Komponens                                                                                                             | Koncentrációtartomány      |
| metán                                                                                                                 | 0-80 térf. %               |
| szén-dioxid                                                                                                           | 0-80 térf. %               |
| szén-monoxid                                                                                                          | 0-3 térf. %                |
| hidrogén                                                                                                              | 0-3 térf. %                |
| oxigén                                                                                                                | 0-21 térf. %               |
| nitrogén                                                                                                              | 0-78 ppm (térf.)           |
| etilén                                                                                                                | 0-65 ppm (térf.)           |
| etán                                                                                                                  | 0-30 ppm (térf.)           |
| acetaldehid                                                                                                           | 0-150 ppm (térf.)          |
| aceton                                                                                                                | 0-100 ppm (térf.)          |
| szénhidrogének (aromások nélkül)                                                                                      | 0-50 ppm (vegyületenként)  |
| hidrogén-szulfid                                                                                                      | 0-100 ppm (vegyületenként) |
| etilmerkaptán                                                                                                         | 0-120 ppm (vegyületenként) |
| benzol                                                                                                                | 0-15 ppm (vegyületenként)  |
| toluol                                                                                                                | 0-15 ppm (vegyületenként)  |
| xylol                                                                                                                 | 0-15 ppm (vegyületenként)  |
| etil-benzol                                                                                                           | 0-10 ppm (vegyületenként)  |
| vinil-klorid                                                                                                          | 0-10 ppm (vegyületenként)  |
| halogénvegyületek<br>(1,1-diklór-etán, metilén-klorid, tetraklór-metán, 1,1,2-triklór-etilén)                         | 0-100 ppm (vegyületenként) |

A hulladéktömeg állapota és a bomlási folyamat az időben változik. POHLAND (1975.) megfigyelései szerint pl. egy 1 éve működő hulladéklerakóra a nagy nedvességtartalom és az erőteljes fermentáció jellemző, kis pH, azaz savas kémhatás mellett. A képződő anyagok nagy illótartalmúak, a kifolyó vizek oldottanyag-tartalma magas. Ezzel ellentétben egy 4 évesnél idősebb depónia neutrális pH-t mutat, a csurgalékvíz illó-anyagokat nem tartalmaz, lúgossága jelentős.



Mivel a depóniák nagyobb részében anaerob körülmények uralkodnak, a hulladék lebomlása általában igen hosszú időt igényel. Bár a hulladéktömeg reakcióideje nehezen becsülhető és mindig az adott körülményektől függ, azt tudjuk, hogy a biokémiai konszolidáció évtizedekig is eltart (7.11. ábra). Az igénybe vett terület a bezárás után néhány évvel már bizonyos célokra hasznosítható, de a deponált anyagok reakcióideje 150 év is lehet. A rothadási folyamat végét jelezheti például a hőmérséklet, ami a reakcióképesség csökkenésével egy idő után csökkenni kezd, s végül beáll a környezet által meghatározott szintre.



7.11. ábra

A gázképződés alakulása az idő függvényében egy 1 Mt tömegű szilárdhulladék-lerakónál (OWEIS - KHERA, 1990.)

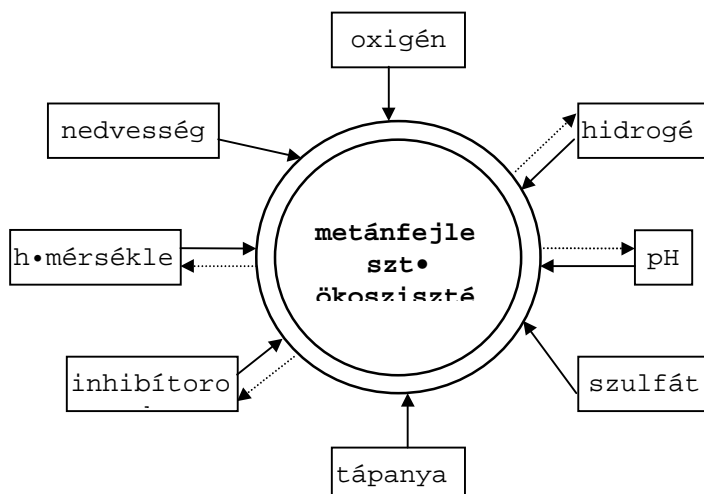
### 7.2.2. Az abiotikus tényezők hatása a biogázképződési folyamatra

A biogáz képződés/termelés folyamatának kézben tartása, optimalizálása érdekében ismernünk kell a képződéshez, termeléshez szükséges mikroszervezetek életfeltételeit és a folyamatot befolyásoló abiotikus tényezők hatását. A 7.12. ábra a fő abiotikus tényezőket tünteti fel, amelyek a metánképződésre hatással vannak. Az egyes tényezők, ill. hatásaik BÁNHEGYI (1993.) munkája alapján:

*Tápanyag:* a mikroszervezetek számára felvehető, megbontható szerves anyag, amely az életfunkciókhoz szükséges energiamennyiséget biztosítani tudja.

A tápanyagellátásra nagyon sokféle szerves anyag alkalmas. A biogáztermelés szempontjából az a lényeges, hogy a keverék állandó összetételű legyen, ez a biztosítéka a kiegyensúlyozott mikrobiológiai tevékenységnek.

Lényeges a tápanyag megfelelő szén-nitrogén aránya. Ismert tény, hogy a sejtfehérjék felépítéséhez nitrogénre van szükség. Ha kicsi a nitrogéntartalom, akkor nem lehet nagyobb szénmennyiséget feldolgozni, ha túl nagy, akkor az ammóniafelhalmozódást okoz. Ez utóbbi különösen a metánképződést akadályozza. A kívánt értékre (~ 3:1) állítás legegyszerűbb módja a különböző hulladékok keverése.

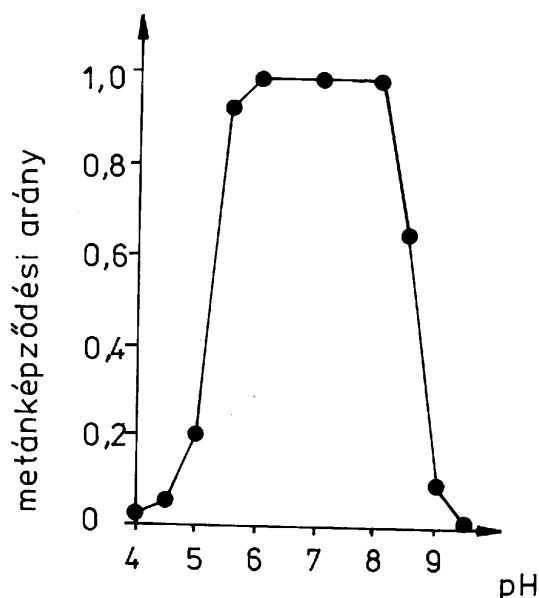


7.12. ábra

A metánképződés fő abiotikus tényezői  
(CHRISTENSEN - KJELDSEN, 1989.)

Hasonlóan lényeges a szén-foszfor arány, amelynek optimális aránya 150:1. Egyéb tápelemek, mint például a kén, a kalcium, a magnézium, a kálium, a cink és a kobalt nem okoznak problémát, mivel a szükséges mennyiség minden komposztálásra szánt anyagban jelen van.

**Kémhatás:** A fermentatív és metanogén szervezetek a semleges, pH = 7 körüli értéken fejtik ki hatásukat a legkedvezőbben. A gyakorlat azt mutatja, hogy a degradációs folyamatok során felhalmozódó köztitermékek (szabad savak) hatására a pH-érték savas irányba tolódik (pH = 4...5), ennek hatására a fermentatív szervezetek működése teljesen lelassul. (7.13. ábra)



7.13. ábra

A relatív metánképződési arány alakulása a pH függvényében az anaerob lebomlási fázisban  
(ZEHNDER et al., 1982.)

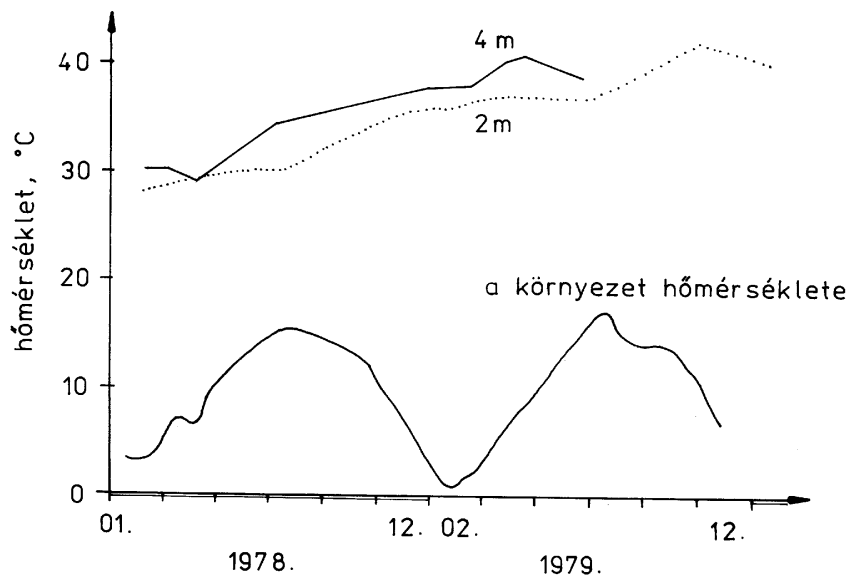
Előfordul a metánképződési folyamatok során is elsavanyodás akkor, ha a savképző szervezetek gyorsabban állítják elő a szerves savakat, mint ahogy azt a metanogén mikrobák átalakítják metánná. Olyan mértékű is lehet a pH-érték csökkenése, hogy a folyamat leáll.

A mérgező anyagok a mikrobák aktivitását csökkentik, szélsőséges esetben pusztulásukat okozzák. A metánképződési folyamatokban szerepet játszó szervezetekről a szakirodalom azt állítja, hogy nagyon érzékenyek a sejtmérgekre, de rövid ideig elviselik azokat, majd újra aktiválódnak. Mivel a metanogén szervezetek anaerobok, az oxigén is mérregnek tekinthető, bár komoly problémákat nem okoz, hiszen fakultatív anaerobok is jelen vannak, amelyek elhasználják az oxigént. Az alkáli- és alkáliföldfémek  $5 \cdot 10^{-3}$  kg/dm<sup>3</sup> koncentrációban mérgezőek. A nehézfémek már  $5 \cdot 10^{-6}$  kg/dm<sup>3</sup> koncentrációban csökkentik a metánképződést. Ezek hatása szulfidok jelenlétében csökkenthető, kivédhető, mivel ezek jelenlétében a nehézfémionok kicsapódnak [pl. vas(II)-szulfid, nátrium-szulfid hatására]. A klórozott szénhidrogének  $3 \cdot 10^{-3}$  kg/dm<sup>3</sup> koncentrációban már veszélyesek, megszüntetik az erjedést, azonban a mikroszervezeteket általában nem pusztítják el. Veszélyesek még a cianid- és a szulfátionok. Ha a szulfátkoncentráció  $10^{-4}$  kg/dm<sup>3</sup>-nél nagyobb, a szulfátredukáló szervezetek elnyomják a metanogéneket.

Víz szükséges a mikroszervezetek anyagcseréjéhez, és ez a biokémiai folyamatok közege is. Ezért a tápanyag nedvességtartalma is fontos tényező. A mikroorganizmusok tevékenységéhez szükséges nedvesség meglehetősen tág határok között mozog. Erjesztési kísérletek mutatják, hogy 0,1%-tól 60%-ig is nőhet a szárazanyag-tartalom.

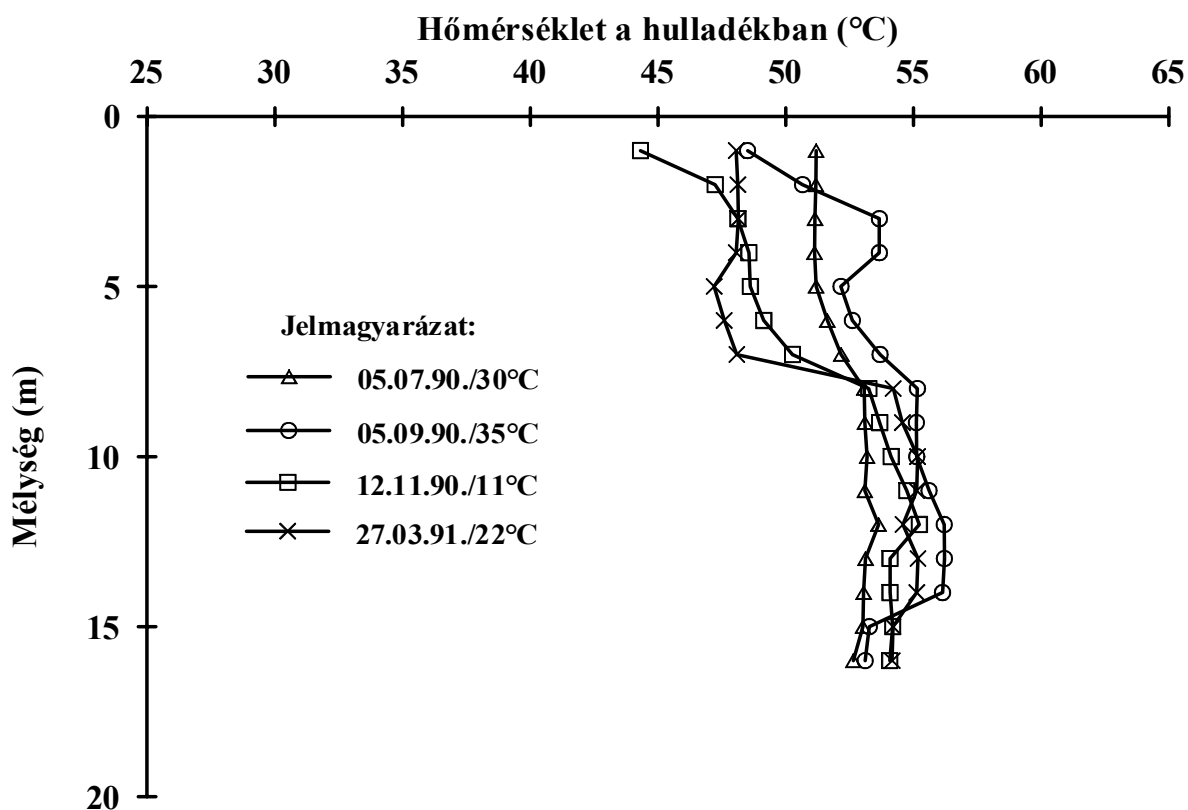
A hőmérséklet egy adott mikroorganizmus (faj) élettevékenységéhez szükséges abiotikus környezeti tényező, a biogáz előállítása szempontjából pedig a legfontosabb rendezőfaktor. Biogáztermeléskor ismeretes a mezofil (optimális hőmérséklet: 30...35°C) és a termofil (optimális hőmérséklet: 50...65 °C) eljárás. Ez utóbbi esetén a folyamat gyorsabb és 10...20 %-kal termelékenyebben zajlik le ugyanolyan szerves anyag lebontása esetén.

A külső hőmérséklet ingadozása csak a depónia felső néhány méterében érezhető hatását, de már ott is a hőtermelő folyamatok eredményeképpen lényegesen megnő a belső hőmérséklet (**7.14-15. ábrák**).



7.14. ábra

A depónián belüli és a külső hőmérséklet változása kétéves megfigyelési idő alatt (REES, 1980.)

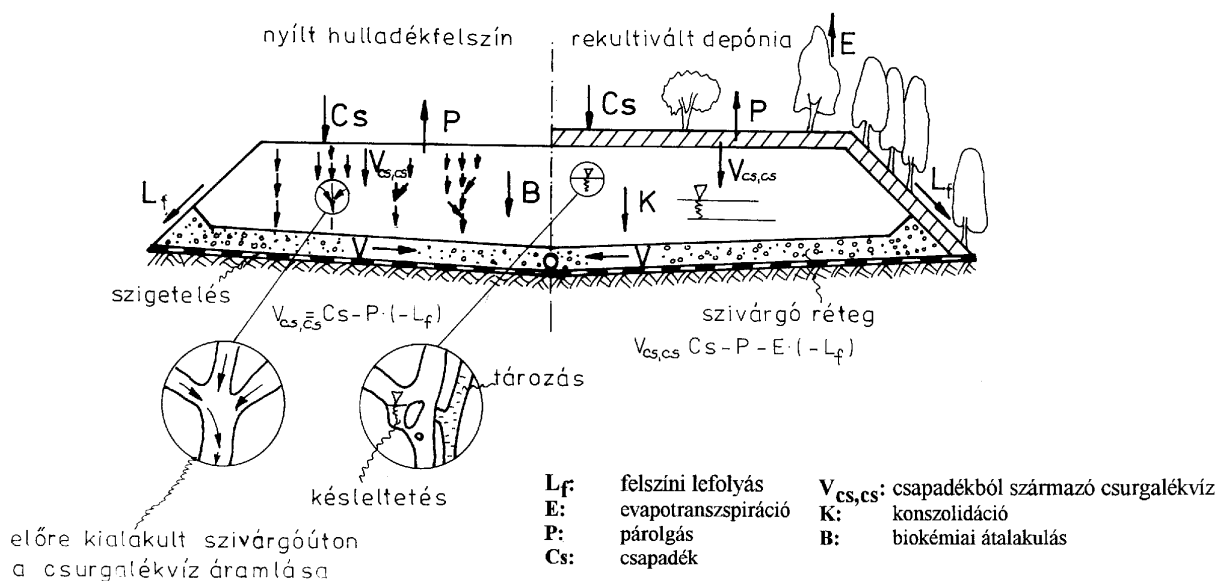


7.15. ábra

A hőmérséklet változása a mélységgel az Ano Liossia (Athén) lerakónál (COUMOULOS et al., 1995.)

## 7.3. A hulladéklerakók vízháztartása

A hulladéklerakó vízháztartásának ismerete rendkívül lényeges, mert segítségével tudjuk meghatározni a *várható csurgalékvíz mennyiségét*, ami a csurgalékvízgyűjtő rendszer méretezésénél alapvető fontosságú (lásd a 6.2.2.1.3. fejezetben). A csurgalékvíz mennyiségén kívül szükségünk van annak várható összetételére is, ami a szigetelőrendszer anyagának, felépítésének a megválasztásánál jelentős. Míg a várható mennyiséget viszonylag jól tudjuk számítani, előre jelezni, addig a minőség tekintetében elsősorban analógiákra, korábbi tapasztalatokra támaszkodhatunk, hiszen minden depónia egyedi. A következőkben a várható csurgalékvíz mennyiség meghatározhatósága érdekében áttekintjük a depóniák vízháztartásának a vizsgálatát.



7.16. ábra

A hulladéklerakó vízháztartása

A depóniák vízháztartását a módosított vízháztartási egyenlettel írhatjuk le (7.16. ábra):

$$Cs - P - R \pm K - V_{CS} - L_f + V_b + V_k = 0$$

ahol:

Cs: a csapadék,

P: a párolgás,

R: a tározás (kötött vízként),

K: a késleltetés (rövidebb ideig a kapillárisokban raktározott víz),

V<sub>CS</sub>: a csurgalékvízlefoiyás az altalaj felé,

L<sub>f</sub>: a felszíni lefolyás,

V<sub>b</sub>: a biokémiai folyamatok során képződött víz és

V<sub>k</sub>: a konszolidáció hatására keletkezett víz.

A módszernél feltételezzük, hogy alulról és felülről külső hozzáfolyás nincs, a csurgalékvíz a lerakóból csak a szivárgórendszeren keresztül kerülhet ki és nincs vízkilépés a rézsű felületén. A csurgalékvízgyűjtő rendszer méretezéséhez szükséges vízmennyiséget a tér és idő függvényében kell meghatározni. A csurgalékvíznek több, egymástól független összetevője lehet:

1. a csapadék és az aktuális párolgás különbsége;
2. a hulladékban mikrobiológiai folyamatok hatására bekövetkező vízképződés, ill. vízfelhasználás;
3. a hulladék konszolidációja során keletkező vízmennyiség;
4. a hulladékban tározódni képes vízmennyiség.

Ezeknek az összessége adja az intenzitást.

Figyelembe kell venni a még az üzemelő nyitott, és a rekultivált, lezárt hulladéklerakó eltérő csurgalékvízképződési körülményeit is. A rekultiváció után szerepet kap a növényzet párolgása, a talaj tározó hatása, esetenként a fedőréteg drénezéséből származó elfolyás. Az üzemi állapot szerint három esetet különböztetünk meg:

a) *Üzemeltetés kezdete - csekély hulladékborítottság*

Kevés vagy egyáltalán nem létező hulladékmennyiség esetén a csapadék gyakorlatilag közvetlenül a telítetlen szivárgórétegbe kerül. A település éghajlati adataiból a szokásos talajvízháztartási módszerrel kell dolgozni.

b) *Üzemeltetés - nyílt hulladékfelszín*

Az előbb említett négy komponens figyelembevételével kell számolni.

c) *Üzemeltetés vége - rekultivált állapot*

A víz tározására képes hulladékmátrix a még folyamatban levő konszolidáció hatására leadja a tárolt vízének egy részét, a biokémiai folyamatok során bekövetkező vízképződés, ill. fogyasztás is fennállhat még, de az ekkor keletkezett csurgalékvíz sokkal kevesebb mint az üzemeltetés során.

A számítás további szempontjai:

- a hulladékanyag nagyon heterogén, ezért a szükséges paraméterek is rendkívül változatosak (áteresztőképeség, víztározóképeség, szemcse nagyság, stb);
- az inhomogenitás következtében különböző szivárgási utak jönnek létre;
- mikrobiológiai folyamatok során gázok is felszabadulhatnak, ha eltávozásuk akadályozott, gázpárna keletkezhet a hulladék fölött;
- a lerakó vékony horizontális rétegekből épül fel, a vertikális irányú áteresztőképesége ezért kisebb mint a horizontális;
- a csurgalékvízmennyiség nem határozható meg közvetlenül, hanem közelítő eljárásokkal, mert csak a dréncsővekbe bejutó vízmennyiség és a csapadék mérhető közvetlenül.

### **7.3.1. A csapadékból származó csurgalékvízmennyiség**

Hazai mérési adatokkal sajnos nem rendelkezünk, mert nem volt olyan korszerű, rendezett lerakó, amelynél a képződött csurgalékvíz mennyisége egzakt módon mérhető lett volna, az új modern lerakóknál pedig még nem rendelkezünk elegendő adattal.

Német előírások szerint (LAGA, 1979.) a depóniaaljazatra lejutó csurgalékvízmennyiség 0,01-0,1 l/s-ha közötti, ami megfelel 0,86-8,64 m<sup>3</sup>/d.ha vagy 0,086 - 0,864 mm/d értéknek. A napi csúcsértékek az éves átlag 2,5-szeres értékeivel vehetők figyelembe.

A keletkező csurgalékvízmennyiség nyilvánvalóan függvénye a hulladékelhelyezési technológiának, valamint a tömörítésnek. A lánctalpas dózerekkel történő beépítésnél csak csekély mértékű tömörítés érhető el, szemben a korszerű kompaktorokkal. EHRIG (1980.) javaslata szerint a csurgalékvíz mennyiségének a becsléséhez a **7.5. táblázat** irányértékeit használhatjuk az éves csapadékösszeg (CS) függvényében.

7.5. táblázat

| Tömörítő-<br>eszköz | A csurgalékvízmennyiség, ha CS = 700 mm |       |         |        |
|---------------------|-----------------------------------------|-------|---------|--------|
|                     | CS %-a                                  | mm/év | mm/ha·d | l/s·ha |
| lánctalpas          | 40                                      | 280   | 7,67    | 0,089  |
| kompaktor           | 25                                      | 175   | 4,79    | 0,055  |

A 7.4. táblázatban szereplő irányértékek a németországi hulladékdepóniákon végzett mérések (24 éves időtartam) adatainak feldolgozásán alapulnak, ahol az éves csapadékmennyiség 600-1000 mm, ami jól megfelel a hazai viszonyoknak is.

EHRIG által végzett kísérletek szerint a depóniák többségében az éves csurgalékvízmennyiség 15-20%-a a csapadéknak. A maximális érték a csapadék 40%-a, a minimális az 5%-a. Javaslata az, hogy a hulladéklerakó tervezésénél a csapadék 25%-át vegyük mint keletkező csurgalékmennyiséget, de hosszú időre számítva a csurgalékvízhozam növekedése várható, mert az idő múltával a hulladék vízfelszívóképessége csökken. A rendelkezésre álló mérési adatok alapján EHRIG meghatározta azt az értéket is, amit adott valószínűséggel a képződött csurgalékvízmennyiség nem lép túl (**7.6. táblázat**)

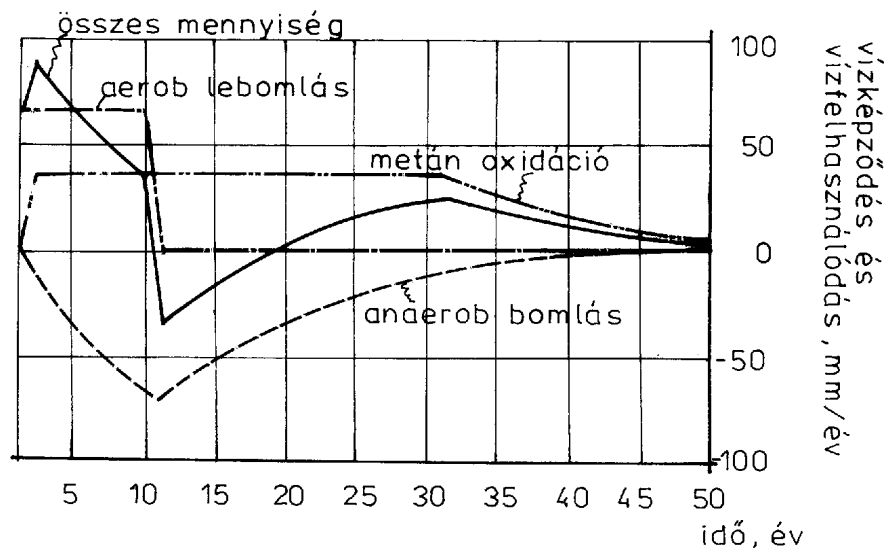
7.6. táblázat

| Valószínűség % | A maximális csurgalékvízmennyiség (l/s·ha) |
|----------------|--------------------------------------------|
| 99,0           | 0,245                                      |
| 97,5           | 0,187                                      |
| 95,0           | 0,147                                      |
| 90,0           | 0,112                                      |
| 66,7           | 0,059                                      |

### 7.3.2. A mikrobiológiai átalakulások vízmérlege

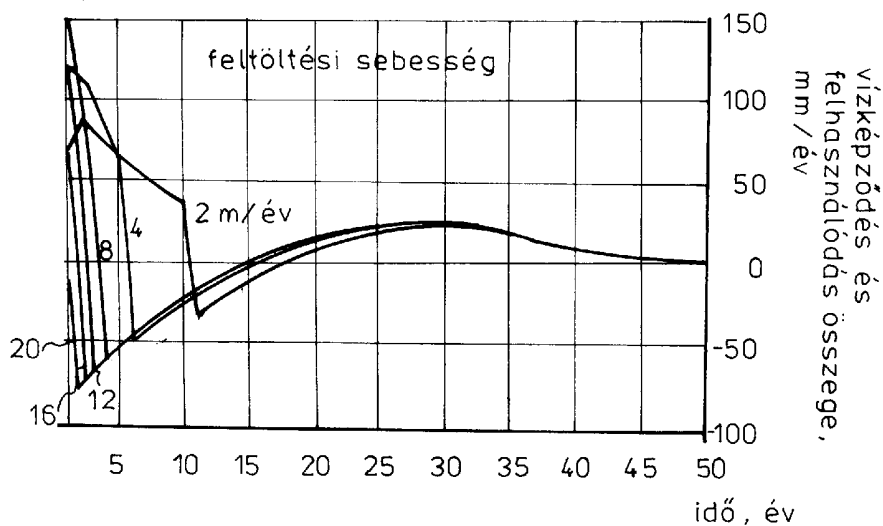
Mint láttuk a mikrobiológiai lebomlási folyamatoknál mind *vízképződés* (aerob lebomlás) mind pedig *vízfelhasználás* (anaerob lebomlás) bekövetkezhet. A **7.17. ábra** a biokémiai folyamatok vízmérlegét ábrázolja egy kísérleti depónián EHRIG vizsgálatai alapján. A kísérleti depónia 1 m<sup>2</sup> alapterületű, a hulladék vastagsága 2 m, térfogatsűrűsége 1 t/m<sup>3</sup>, a szervesanyag-tartalom 200 kg/t volt. Mint látjuk kezdetben az aerob bomlás és metán oxidáció révén a vízmérleg pozitív, majd az anaerob bomlás beindulása és dominanciája révén átmenetileg negatív, a lebomlási folyamat végén pedig ismét gyengén pozitív lesz. Természetesen, a vízmérlegre számos tényező hatással van, többek között a feltöltés sebessége, amit a **7.18. ábra** szemléltet, s mindez a

képződő csurgalékvíz mennyiségének a becslését nagyon megnehezíti. Tapasztalatok szerint a kezdeti években a vízképződés átlagosan 100 mm/év, a vízfelhasználás 75 mm/év nagyságúra becsülhető, a vízmérleg pozitív, kb. 25 mm/év, és minél gyorsabb az építés üteme (a hulladékvastagság növekedése) annál gyorsabban vált át az egyensúlyi görbe negatív értékbe. Ebből következik, hogy a csurgalékvízgyűjtő rendszer méretezésénél a várható legkisebb építési ütemet kell mértékadónak tekinteni.



7.17. ábra

A biokémiai vízmérleg  
(feltöltési sebesség: 2 m/év; az anaerob bomlás felezési ideje: 7.5 év)  
(EHRIG, 1980.)



7.18. ábra

A biokémiai vízmérleg  
(20 m vastag hulladék réteg esetén; feltöltési sebesség: 2m/év; az anaerob bomlás felezési ideje: 7.5 év)  
(EHRIG, 1980.)



### 7.3.3. A konszolidáció során keletkező vízmennyiség

A konszolidáció révén keletkező vízmennyiség még nehezebben becsülhető, mint az előzőek. A Braunschweigi Műszaki Egyetemen végzett laboratóriumi kutatások (RAMKE, 1991.) azt mutatták, hogy a biokémiai folyamatok során megváltozott tározási kapacitás és a többletterheléssel keletkezett csurgalékvíz megkülönböztetése a gyakorlatban és a modellkísérleteknél nagyon bizonytalan. Nem lehet tudni, hogy az eddig raktározott víz a terhelés hatására távozik-e, vagy a biokémiai folyamatok addig bontották az anyagokat, hogy azok tározóképességüket éppen elvesztették.

A konszolidáció révén keletkező vízmennyiség kommunális hulladék esetén a vízmérleg megállapítása során elhanyagolható.

Lényegesen nagyobb a konszolidációs vízmennyiség az ipari, iszapszerű hulladékoknál, ahol a maximális értéke 300-400 mm/méter iszap vízmennyiséget is elérheti.

### 7.3.4. A víztározás és késleltetés

A tiszta tározás alatt azt értjük, amikor a vizet a hulladékanyag hosszú ideig megköti, felszívja, a késleltetés pedig csak időleges lassítása a víz hulladékon keresztüli lefolyásának. A víz tározásánál meg kell különböztetnünk

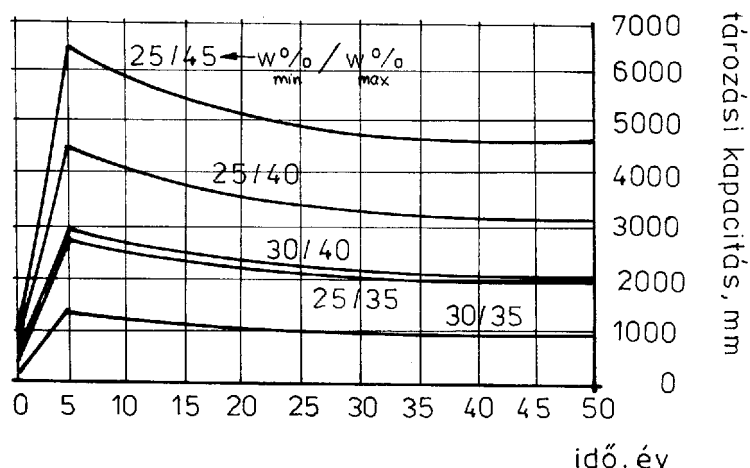
- a hulladék tározási kapacitását és
- a hulladéklerakó egészének tározási kapacitását.

A hulladéklerakóban való tározás nemkívánatos jelenség. A víz felhalmozódása a hulladékban a gázok eltávozását gátolja, a lerakó rézsüjéből való oldalirányú kilépést is eredményezhet, ami állékonysági problémákat is okozhat.

A hulladéklerakóban tározódó víztérfogat függ:

- a lerakás magasságától,
- a hulladék tömörségétől,
- a pórusmérettől és a pórusméret eloszlástól,
- a kezdeti víztartalomtól,
- a hulladék összetételétől, ill.
- a bomlási állapottól.

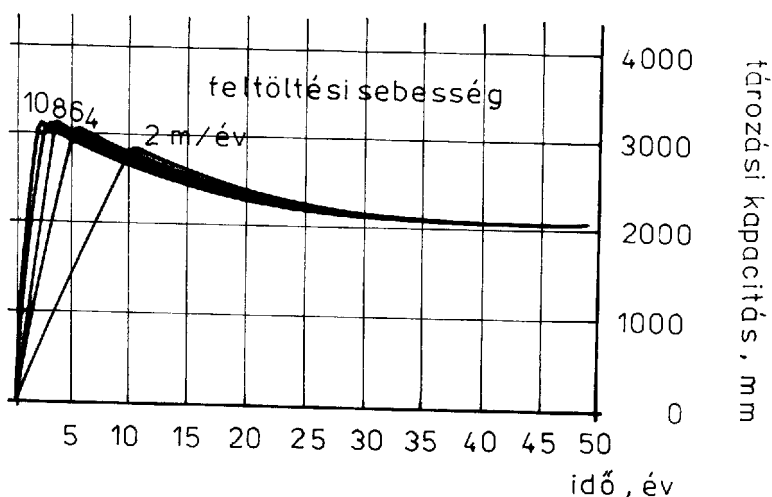
Inert anyagokból álló hulladéknak kisebb a tározókapacitása, mint a sok szerves anyagot tartalmazó kommunális hulladéké. Az egyes hulladékanyagokra jellemző tározási kapacitás értékekre megbízható adatokkal jelenleg nem rendelkezünk. Néhány kísérleti adat ismert. EHRIG (1989.) az értékét 9-16 % közöttire becsülte, a vizsgálat elvét azonban nem közölte. SPILLMANN-COLLINS (1986.) kommunális hulladékokkal végzett több éves liziméter kísérletek eredményeként az átlagos értéket 33 %-nak találta. A tározókapacitás időben is változik a hulladék lebomlási folyamata során. A **7.19. ábrán** egy 20 m vastag kommunális hulladék-lerakó tározókapacitásának időbeli változása látható SPILLMANN (1988.) munkája nyomán.



7.19. ábra

A tározási kapacitás időbeli változása 20m vastag hulladékréteg esetén (SPILLMANN, 1988.)

Mivel a feltöltési sebesség hatással van a lebomlási folyamatokra, így értelemszerűen befolyásolja a tározási kapacitás értékét is, mint azt a 7.20. ábra szemlélteti.



7.20. ábra

A tározási kapacitás változása a feltöltési sebesség függvényében 20 m vastag hulladékréteg esetén (SPILLMANN, 1988.)

#### 7.4. A csurgalékvíz összetétele

Mint már említettük, a keletkező csurgalékvíz összetétele előre igen nehezen becsülhető, hiszen számos tényező függvénye. Nyilvánvalóan függ a lerakott hulladék összetételétől, annak kezelésétől, a depónia kialakításától, a lebomlási folyamatoktól, az időtől, stb.

A 7.7. táblázat a különböző tevékenységi körből, ill. iparágból kikerülő hulladékok csurgalékvizeiben megjelenő jellemző elemeket foglalja össze.

| <i>Különböző iparágak hulladékainak csurgalékvizében megjelenő jellemző elemek (OWEIS-KHERA, 1990.)</i> |    |    |                 |    |    |    |    |    |                  |    |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|-----------------|----|----|----|----|----|------------------|----|----|
| Tevékenység, iparág                                                                                     | As | Cd | CH <sup>*</sup> | Cr | Cu | CN | Pb | Hg | SZ <sup>**</sup> | Se | Zn |
| Elemgyártás                                                                                             |    | x  |                 | x  | x  |    |    |    |                  |    | x  |
| Vegyipari tevékenység                                                                                   |    |    | x               | x  | x  |    |    | x  | x                |    |    |
| Elektromos és elektronikai ipar                                                                         |    |    | x               |    | x  | x  | x  | x  |                  | x  |    |
| Galvanizálás, fém-kikészítés                                                                            |    | x  |                 | x  | x  | x  |    |    |                  |    | x  |
| Robbanóanyag előállítás                                                                                 | x  |    |                 |    | x  |    | x  | x  | x                |    |    |
| Bőripar                                                                                                 |    |    |                 | x  |    |    |    |    | x                |    |    |
| Bányászat, kohászat                                                                                     | x  | x  |                 | x  | x  | x  | x  | x  |                  | x  | x  |
| Festék, szinezőanyag gyártás                                                                            |    | x  |                 | x  | x  | x  | x  | x  | x                |    | x  |
| Peszticidok előállítása                                                                                 | x  |    | x               |    |    | x  | x  | x  | x                |    | x  |
| Kőolaj- és szénipar                                                                                     | x  |    | x               |    |    |    | x  |    |                  |    |    |
| Gyógyszergyártás                                                                                        | x  |    |                 | x  |    |    |    | x  | x                |    |    |
| Nyomda és másolóipar                                                                                    | x  |    |                 |    | x  |    | x  |    | x                | x  |    |
| Cellulóz- és papíripar                                                                                  |    |    |                 |    |    |    |    | x  | x                |    |    |
| Textilipar                                                                                              |    |    |                 | x  | x  |    |    |    | x                |    |    |

\* klórozott szénhidrogének és PCB-k

\*\* különböző szerves anyagok (pl. akrilsavalehid, klórpikrin, dimetil-szulfát, dinitro-benzol, dinitro-fenol, nitro-anilin, pentaklór-fenol stb.)

A **7.8. táblázat** egy új, működő és egy bezárt kommunálshulladék-lerakó csurgalékvizének összetételét mutatja, összehasonlítva a háztartási szennyvízzel (GAEKE et al., 1977.).

A táblázat adataiból látható, hogy a szennyező anyag utánpótlásának megszűnte - a lerakó bezárása - után a csurgalékvízben lévő komponensek nagy részének koncentrációja jelentősen csökken. Ez a szennyező anyagok migrációjának meghatározásakor igen fontos szempont. A csurgalék magas KOI, BOI<sub>5</sub>, TOC értéke komoly szervesanyag-terhelést mutat.

7.8. táblázat

| <b>Különböző korú kommunálshulladék-lerakók csurgalékvizének összetétele (GAEKE et al., 1977.)</b> |                                   |                                    |                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Jellemző</b>                                                                                    | <b>Friss lerakó csurgalékvize</b> | <b>Bezárt lerakó csurgalékvize</b> | <b>Háztartási szennyvíz</b> |
|                                                                                                    | mg/l                              | mg/l                               | mg/l                        |
| pH-érték                                                                                           | 6,2                               | 7,5                                | 7,5                         |
| KOI                                                                                                | 24 000                            | 700                                | 700                         |
| BOI <sub>5</sub>                                                                                   | 13 600                            | 70                                 | 400                         |
| TOC*                                                                                               | 8 000                             | 400                                | 240                         |
| Illó sav                                                                                           | 6 000                             | 5                                  | 40                          |
| Ammónia-nitrogén                                                                                   | 600                               | 260                                | 46,0                        |
| Oxidált nitrogén                                                                                   | 0,5                               | 7,5                                | 0,5                         |
| Ortofoszfát                                                                                        | 0,7                               | 0,5                                | 14,0                        |
| Klorid                                                                                             | 1 300                             | 1 400                              | 120                         |
| Nátrium                                                                                            | 960                               | 880                                | 100                         |
| Magnézium                                                                                          | 250                               | 130                                | 4,5                         |
| Kálium                                                                                             | 780                               | 340                                | 20                          |
| Kalcium                                                                                            | 1 820                             | 200                                | 110                         |
| Króm                                                                                               | 0,56                              | 0,07                               | 0,0005                      |
| Mangán                                                                                             | 26,5                              | 1,7                                | 0,07                        |
| Vas                                                                                                | 540                               | 10                                 | 0,03                        |
| Cink                                                                                               | 21,5                              | 0,2                                | 0,16                        |

\* Összes szerves szén

A **7.9-7.10. táblázatok** a kommunálshulladék-lerakók csurgalékvize szerves és szervetlen komponenseinek szélső és átlagértékeit foglalja össze, bemutatva, hogy az lényegesen nem tér el az ipari és veszélyes hulladékok lerakóinak csurgalékvizétől (**7.11. táblázat**), ami a megfelelő műszaki védelem kialakításánál alapvető szempont.

7.9. táblázat

| <i>Kommunálishulladék-lerakók csurgalékvizében megjelenő szerves komponensek jellemző koncentrációértékei</i> |                      |                      |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| <b>Vegyület</b>                                                                                               | <b>Minimum (ppb)</b> | <b>Maximum (ppb)</b> | <b>Átlag (ppb)</b> |
| aceton                                                                                                        | 140                  | 11 000               | 7 500              |
| benzol                                                                                                        | 2                    | 410                  | 117                |
| 1-butil-alkohol                                                                                               | 50                   | 360                  | 220                |
| 1,4 diklór-benzol                                                                                             | 2                    | 20                   | 7,7                |
| diklór-difluor-metán                                                                                          | 10                   | 369                  | 95                 |
| 1,1 diklór-etán                                                                                               | 2                    | 6 300                | 65,5               |
| 1,2 diklór-etán                                                                                               | 0                    | 11 000               | 7,5                |
| diklór-metán                                                                                                  | 2                    | 3 300                | 230                |
| 1,2 diklór-propán                                                                                             | 2                    | 100                  | 10                 |
| dietil-ftalát                                                                                                 | 2                    | 45                   | 31,5               |
| dimetil-ftalát                                                                                                | 4                    | 55                   | 15                 |
| di-n-butil-ftalát                                                                                             | 4                    | 12                   | 10                 |
| etil-acetát                                                                                                   | 5                    | 50                   | 42                 |
| etil-benzol                                                                                                   | 5                    | 580                  | 38                 |
| fenol                                                                                                         | 10                   | 28 800               | 257                |
| klórbenzol                                                                                                    | 2                    | 237                  | 10                 |
| kloroform                                                                                                     | 2                    | 1 300                | 10                 |
| metil-bromid                                                                                                  | 10                   | 170                  | 55                 |
| metil-klorid                                                                                                  | 10                   | 170                  | 55                 |
| metil-etil-kezon                                                                                              | 110                  | 28 000               | 8 300              |
| metil-izobután-kezon                                                                                          | 10                   | 660                  | 270                |
| naftalin                                                                                                      | 4                    | 19                   | 8                  |
| nitrobenzol                                                                                                   | 2                    | 40                   | 15                 |
| 4-nitro-fenol                                                                                                 | 17                   | 40                   | 25                 |
| pentaklór-fenol                                                                                               | 3                    | 25                   | 3                  |
| 2-propil-alkohol                                                                                              | 94                   | 10 000               | 6 900              |
| tetraklór-metán                                                                                               | 2                    | 398                  | 10                 |
| 1,1,2,2 tetraklór-etilén                                                                                      | 7                    | 210                  | 20                 |
| tetra-hidro-furán                                                                                             | 5                    | 260                  | 18                 |
| toluol                                                                                                        | 2                    | 1 600                | 166                |
| 1,1,1 triklór-etán                                                                                            | 0                    | 2 400                | 10                 |
| 1,1,2 triklór-etán                                                                                            | 2                    | 500                  | 10                 |
| triklór-metilfluorid                                                                                          | 4                    | 100                  | 12,5               |
| vinil-klorid                                                                                                  | 0                    | 100                  | 10                 |
| m-xilol                                                                                                       | 21                   | 79                   | 26                 |
| p-xilol + o-xilol                                                                                             | 12                   | 50                   | 18                 |

**7.10. táblázat**

| <i>20 kommunálhulladék-lerakó (Németország) csurgalékvizének összetétele (MÜNK et al., 1989.)</i> |                                            |                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Jellemző</b>                                                                                   | <b>Szélsőértékek tartománya<br/>(mg/l)</b> | <b>Átlagértékek tartománya<br/>(mg/l)</b> |
| Összes szilárd anyag                                                                              | 1 000 - 50 000                             | 3 000 - 8 000                             |
| BOI <sub>5</sub>                                                                                  | 60 - 45 000                                | 1 000 - 2 000                             |
| KOI                                                                                               | 200 - 100 000                              | 3 000 - 6 000                             |
| Cl                                                                                                | 250 - 15 000                               | 400 - 2 000                               |
| SO <sub>4</sub>                                                                                   | 10 - 2 000                                 | 10 - 1 000                                |
| S                                                                                                 | 0,1 - 10                                   | 0,5 - 2                                   |
| PO <sub>4</sub>                                                                                   | 1 - 100                                    | 5 - 15                                    |
| K                                                                                                 | 100 - 2 400                                | 100 - 1 000                               |
| NH <sub>4</sub>                                                                                   | 60 - 3 200                                 | 120 - 1 500                               |
| Fe                                                                                                | nyom ÷ 800                                 | 3 - 400                                   |
| Mn                                                                                                | nyom ÷ 75                                  | 1 - 40                                    |
| Cu                                                                                                | nyom ÷ 1                                   | 0,03 - 0,3                                |
| Cr                                                                                                | nyom ÷ 1,2                                 | 0,03 - 0,5                                |
| Zn                                                                                                | 0,1 - 80                                   | 0,2 - 15                                  |
| Pb                                                                                                | 0,002 - 0,6                                | 0,02 - 0,3                                |
| Cd, As, CO                                                                                        | nyom - 0,1                                 | 0,03 - 0,06                               |
| Hg                                                                                                | nyom - 0,05                                | 0,005 - 0,01                              |
| Ni                                                                                                | 0,05                                       | 0,1 - 1,2                                 |
| pH érték                                                                                          | 4 - 9                                      | 6,5 - 8                                   |

7.11. táblázat

| <i>A csurgalékvíz összetételének szélső értékei irodalmi adatok alapján (RAY-CHAN, 1986.)</i> |                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>Jellemző</b>                                                                               | <b>Mennyiség (mg/l)</b> |
| Biológiai oxigén igény (BOI <sub>5</sub> )                                                    | 4 - 57.700              |
| Kémiai oxigén igény (KOI)                                                                     | 31 - 89.520             |
| Összes szerves szén (TOC)                                                                     | 0 - 28.500              |
| Illó savak és ecetsav                                                                         | 70 - 27.700             |
| BOI <sub>5</sub> /KOI hányados                                                                | * 0,02 - 0,87           |
| KOI/TOC hányados                                                                              | * 0,4 - 4,8             |
| Nitrogén                                                                                      | 7 - 1.970               |
| Nitrát (N-ben)                                                                                | 0 - 51                  |
| Ammónium (N-ben)                                                                              | 0 - 1.966               |
| Összes foszfát                                                                                | 0,2 - 130               |
| Ortofoszfát                                                                                   | 0,2 - 120               |
| lúgosság (mg CaCO <sub>3</sub> /l)                                                            | 0 - 20.850              |
| összes keménység (mg CaCO <sub>3</sub> /l)                                                    | 0 - 22.800              |
| összes szilárd anyag                                                                          | 0 - 59.200              |
| összes oldott anyag                                                                           | 584 - 44.900            |
| fajlagos vezetőképesség (μS/cm)                                                               | * 1.400 - 17.100        |
| pH (-)                                                                                        | * 3,7 - 8,8             |
| Ca                                                                                            | 60 - 7.200              |
| Mg                                                                                            | 17 - 15.600             |
| Na                                                                                            | 0 - 7.700               |
| Cl                                                                                            | 4,7 - 4.816             |
| SO <sub>4</sub>                                                                               | 10 - 324                |
| Cr                                                                                            | 0,2 - 18                |
| Cd                                                                                            | 0,3 - 17                |
| Cu                                                                                            | 0,005 - 9,9             |
| Pb                                                                                            | 0,001 - 2,0             |
| Ni                                                                                            | 0,2 - 79                |
| Fe                                                                                            | 4,0 - 2.820             |
| Zn                                                                                            | 0,6 - 370               |
| Metán gáz                                                                                     | * 60 %-ig               |
| Széndioxid                                                                                    | * 40 %-ig               |

\* A külön nem jelölt érték mg/l-ben értendő

## 7.5. Irodalomjegyzék

*ÁRVAI J. (szerk.) (1993):*

Hulladékgazdálkodási kézikönyv  
Műszaki Könyvkiadó, Bp.

*BÁNHEGYI I. (1993):*

Biológiai hulladékkezelés  
Hulladékgazdálkodás (szerk.: *ÁRVAI J.*)  
Műszaki Könyvkiadó, pp. 390-423.

*BILITEWSKI, B.-HÄRD TLE, G.-MAREK, K. (1990):*

Abfallwirtschaft  
Springer Verlag

*CHRISTENSEN, TH.H -KJELDSSEN, P. (1989):*

Basic biochemical process in landfills  
Sanitary Landfilling (ed.: *CHRISTENSEN, TH.H.-COSSU, R.-STEGMANN, R.*)  
Academic Press, pp. 29-48.)

*CHRISTENSEN, TH.H.-COSSU, R.-STEGMANN, R.. (1989):*

Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact  
Academic Press

*DODT, M.E.-SWEATMAN, M.B. (1987):*

Field measurements of landfill surface settlements  
Geotechnical Practice of Waste Disposal '87. Geotechnical Special Publication, No.13.  
ASCE, pp. 407-417.

*EHRIG, H.J. (1980):*

Beitrag zum quantitativen und qualitativen Wasserhaushalt von Mülldeponien  
Veröffentlichungen des Institutes für Stadtbauwesen, H. 26. TU-Braunschweig

*EHRIG, H.J. (1989):*

Sickerwasser aus Hausmülldeponien. Menge und Zusammensetzung  
Müll-Handbuch, Loseblattsammlung, Lieferung I/89.  
Erich Schmidt Verlag

*FRANZIUS, V. (1987):*

Bedeutung von Oberflächenabdichtungen für Gas-und Wasserhaushalt von Deponien  
Fortschritte der Deponietechnik. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, pp. 167-173.  
Erich Schmidt Verlag

*GEAKE, A.K.-FOSTER, S.S.D. (1987):*

Unsaturated zone pollutant transport beneath a low-technology wastewater reuse facility  
Proc. Int. Conf. Vulnerability of Soil and Ground Water to Pollutants, Hague, pp. 1011-1025.

*HALMOSSNÉ BÁRHORY K. (1980):*

Települési hulladékok lerakóhelyein végbemenő folyamatok vizsgálatai  
Kézirat, Budapest

*JESSBERGER, H. L. – KOCKEL, R. (1993):*

Determination and assesment of the mechanical properties of waste materials  
Proc. Int. Symp. Green '93, Bolton, UK.  
Balkema, Rotterdam

*KISS G. (1992):*

Szilárd kommunális hulladékok felszíni elhelyezése  
Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai Mérnökgeológiai Tanszék, Diplomaterv.



- KÖNIG, D. – KOCKEL, R. – JESSBERGER, H.L. (1996):*  
Zur Beurteilung der Standsicherheit und zur Prognose von Mischabfalldeponien  
12. Nürnberger Deponieseminar.  
Veröffentlichungen des LGA – Grundbauinstituts, H. 75., pp. 93-118.
- MÜNK, G. - HEGLER - MENNIG, G. (1989):*  
Abdichtung von Mülldeponien  
Kunststoff, Vol. 79. No. 4. pp. 352-358.
- OWEIS, I.S. - KHERA, R.P. (1990):*  
Geotechnology of Waste Management  
Butterworths, p. 273.
- RAMKE, H.G. (1991):*  
Hydraulische Beurteilung und Dimensionierung der Basisentwässerung von Deponien  
fester Siedlungsabfälle  
Leichtweiss-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig, Mitteilungen, H. 114. p. 326.
- RAY, C. - CHAN, P.C. (1986):*  
Removal of heavy metals from landfill leachate: an overview  
Int. Symp. on Environmental Geotechnology (Ed.: FANG, H.Y.), Vol. I. pp. 113-126.  
Envo Publishing Comp.
- REES, J.F. (1980):*  
Optimization of methane production and refuse decomposition in landfills by  
temperature control  
Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 30. pp. 485-465.
- SPILLMANN, P. (1988):*  
Wasserhaushalt von Abfalldeponien  
Behandlung von Sickerwässern aus Abfalldeponien. Fachseminar Veröffentlichungen  
des Zentrums für Abfallforschung, Heft 3. TU Braunschweig.
- SPILLMANN, P.-COLLINS, H.J. (1986):*  
Physikalische Untersuchungen zum Wasser- und Feststoffhaushalt  
Wasser- und Stoffhaushalt von Abfalldeponien und deren Wirkung auf Gewässer  
(Hrsg.: SPILLMANN, P.)  
VCH-Verlagsgesellschaft, Weinheim
- STEGMANN, R. - SPENDLIN, H.H. (1985):*  
Research activities on enhancement of biochemical processes in sanitary landfills.  
Proc. of the Conf. New Directions and Research on Enhancement of Biochemical Processes  
in Sanitary Landfills. University of British Columbia, Vancouver, Canada, June 23-28.
- ZEHNDER, A.J.B. - INGVORSEN, K. - MARTI, T. (1982):*  
Microbiology of methane bacteria  
Anaerobic Digestion ( ed: HLIGHTES et al.), pp. 45-68.)  
Proc. of the Second Int. Symp. of Anaerobic Digestion, Travemünde, 6-11 Sept. 1981.  
Elsevier



## 8. FEJEZET

### A HULLADÉKLERAKÁS TECHNOLÓGIÁJA

A korábbi fejezetekben megismertek alapján a rendezett lerakónak meg kell felelnie a következő követelményeknek (KERTÉSZ-MANN, 1993.).

1. A lerakóhely szakszerű kiválasztásával és kialakításával (természetes és műszaki védelemmel) meg kell akadályozni a környezetszennyezés lehetőségét;
2. A lerakón csak olyan hulladék helyezhető el, amelynek káros hatásai ellen a lerakó és annak kialakítása biztonságos védelmet nyújt;
3. A beszállított hulladék mennyiségének és minőségének ellenőrzésével el kell érni, hogy a lerakót a tervezéskor számításba vett terhelésnél nagyobb terhelés ne érje, tehát a védelem hosszú távon is megfelelően működjék;
4. Az előre meghatározott lerakási technológiával meg kell teremteni, hogy a lerakó művelése alatt az elkerülhetetlen szennyezés (kiporzás, bűz, levegőszennyezés, kedvezőtlen esztétikai hatás) minimális legyen, s a lerakott hulladék hasznosíthatósága (pl. biogáztermelés, szelektív lerakáskor az anyagok visszanyerhetősége) ne romoljék;
5. A lerakót sem művelése alatt, sem lezárása után nem szabad ellenőrizetlenül hagyni, fel kell készülni az esetleges váratlan környezetkárosítás elhárítására;
6. A lerakó lezárásakor a terület optimális hasznosítását és tájba illesztését meg kell oldani.

A jelen fejezetben a fenti követelmények közül a 4. pontban leírtakkal foglalkozunk.

A rendezett lerakó kiviteli tervének részeként *üzemeltetési tervet* kell készíteni, ami többek között tartalmazza mindazokat a tevékenységeket, amelyeket a lerakó építése, üzemeltetése és a hulladék elhelyezése során el kell végezni.

Az alábbiakban áttekintjük a lerakási technológiákat, hangsúlyozva, hogy az elsősorban nem a hulladék minőségének, hanem a lerakó típusának és a helyi adottságoknak a függvénye.

A kommunális- és veszélyeshulladék-lerakóban történő elhelyezésénél az alapvető különbség a védelmi rendszerben (bár az is egyre inkább közelít egymáshoz), a lerakó típusában, a hulladék előkezelésében, a lerakás közbeni takarás-, és a véglegesen lezárt felületek nagyságában és arányában, valamint a lerakás közbeni esetleges ideiglenes lefedésben van. Mindezeket a sajátosságokat figyelembe véve célszerű külön-külön tárgyalni a két hulladékfajta lerakási módjait, nem tévesztve szem elől, hogy azok megfelelő védelmi rendszer esetén kölcsönösen alkalmazhatók, természetesen a gazdaságossági szempontok figyelembe vételével. Öröndetes, hogy az utóbbi időben hazánkban is új lerakó létesítések a környezetvédelmi szempontok kapnak prioritást a gazdasági megfontolásokkal szemben.

### 8.1. A kommunális hulladék elhelyezése a lerakóban

Bármely lerakási technológia mellett szükséges a lerakott hulladék *tömörítése*. A tömörítéssel egyrészt *csökken a hulladék térfogata*, ami növeli a lerakó befogadóképességét, másrészt *kedvezőbb lesz a lerakó vízháztartása* (csökken a csapadékvíz bejutásából származó csurgalékvíz mennyisége), *állékonysága és utólagos süllyedése*.

A hulladék önmagában is tömörödik, elsősorban az önsúly és a szerves anyagok bomlása miatt. *A tömörödés mértéke függ a külső tényezőktől* (hulladékösszetétel, annak egyenlőtlensége, a bejutó csapadék mennyisége, a biológiai folyamatokat meghatározó hőmérséklet), *a gyűjtőszállító járművek típusától, a feltöltési technológiától* (ürítés módja, rétegvastagság, depóniaalak) és *a tömörítés eszközeitől*.

A hulladék tömörítésére vagy szállító járműveket, vagy speciális célgépeket használunk. Ez egyszerűbb esetben lehet a földműépítésben használt gép, de célszerűbb és hatékonyabb a kifejezetten erre a célra kialakított *kompaktor*, azaz körmös hengerekkel ellátott, nagy súlyú önjáró berendezés, ami a hulladék aprításával növeli a tömörítés hatékonyságát.

A tömörítő célgépekkel a hulladék - összetételétől függően - 1:2 ÷ 1:4 arányban tömöríthető. A tömörítő eszközök talpnyomás adatait a **8.1. táblázat** tartalmazza (KERTÉSZ-MANN, 1993.).

**8.1. táblázat**

| <i>A hulladéktömörítő eszközök talpnyomás értékei</i> |                         |
|-------------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>Gép</b>                                            | <b>Talpnyomás (kPa)</b> |
| Lánctalpas tologép                                    | 20-60                   |
| Tehergépjármű                                         | 200-600                 |
| Gumihenger                                            | 200-900                 |
| Sima (acélköpenyes) henger                            | 1000-2000               |
| Kompaktor (fogazott henger)                           | > 2000                  |

1 MPa talpnyomásnál kisebb értéknél  $0,6 \text{ t/m}^3$ , kompaktorokkal  $1,0 \text{ t/m}^3$ -nél nagyobb térfogatsűrűsége tömöríthető az eredetileg  $0,15\text{-}0,25 \text{ t/m}^3$  tömörségű hulladék.

*A hulladék aprításával* ugyancsak javítható a lerakó térfogatának a kihasználása. Ez különösen a nagy mennyiségű darabos hulladékok esetén célszerű, ha nincs tömörítő célgép. Telepítésük meglehetősen nagy beruházási költséget igényel.

A végső lefedés előtt mind a környezetszennyezés elkerülése, mind a csurgalékvízképződés csökkentése érdekében szükséges a hulladék *ideiglenes takarása*. A takarást  $1,5 \div 2,0 \text{ m}$  lerakott és tömörített hulladék esetén 20-25 cm vastag, szerves anyagot nem tartalmazó hulladékkal, ill. földdel műszakonként legalább egy alkalommal el kell végezni.

A következőkben áttekintünk néhány lehetséges lerakási módot, feltételezve, hogy a depónia kialakítása és a szükséges védelmi rendszer kiépítése a követelményeknek megfelelően megtörtént.

### 8.1.1. Prizmás rendszerű ellenőrzött lerakás

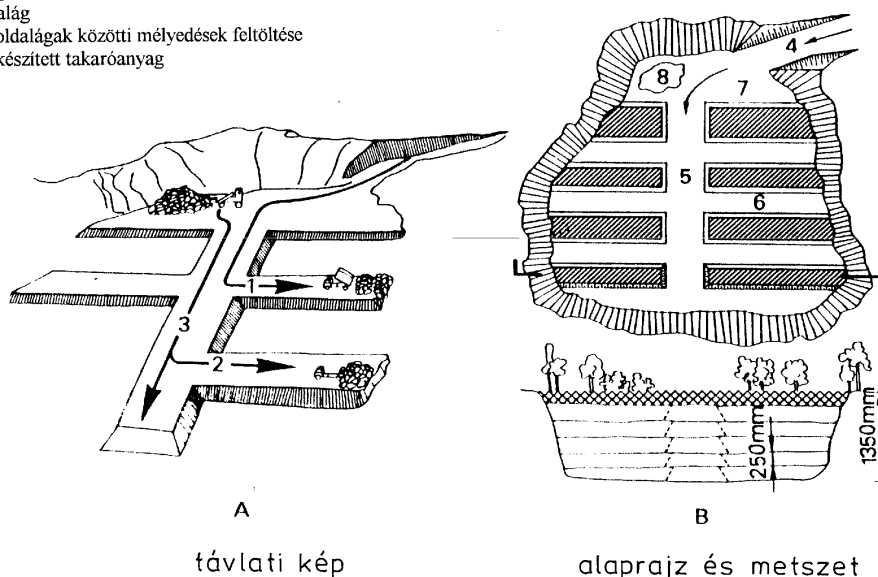
A prizmás rendszerű ellenőrzött lerakás során a hulladékot rétegesen rakják le. Egy-egy réteg hulladékból készült prizmák hálózatából áll (főprizmák, keresztprizmák). A prizmahálózat keresztezési közeinél "szellőzőgödrök", ill. "szellőzőlyukak" alakulnak ki, amelyeket a rétegen belül utoljára töltenek fel (KERTÉSZ-MANN, 1993.).

A hulladékprizma alul szélesebb, felül keskenyebb trapéz keresztmetszetű forma, felső ún. koronasíkja a hulladékot szállító járművek közlekedési útja, s egyben ürítőterülete.

Az ürített hulladékot megfelelő eszközzel - általában dózerral - elegyengetik, és vagy célgéppel tömörítik, vagy megelégszenek az azon közlekedő szállító járművekkel végzett tömörítéssel. A prizma a lerakás irányába leürített hulladéktól növekszik, homlokdöntéssel készül. A prizma teljes felületét - a koronasíkot és az oldalrészüket is - folyamatosan takarják.

Az ellenőrzött prizmás lerakás eredményesen alkalmazható természetes vagy mesterséges, sík vagy domborzatos terepen levő gödrök vagy terepmélyedések feltöltéséhez (8.1. ábra).

1. a nyersszemét lerakása
2. a nyersszemét gépi egyengetése
3. a takaróanyag szállítása
4. bejáróút
5. főág
6. oldalág
7. az oldalágak közötti mélyedések feltöltése
8. előkészített takaróanyag



A távlati kép

B alaprajz és metszet

#### 8.1. ábra

A prizmás rendszerű lerakás vázlata  
(Környezetvédelmi Lexikon, 1993.)

Ez a lerakási mód lehetővé teszi a feltöltött terület zöldterületként való hasznosítását.

A feltöltés alulról felfelé megy végbe. A gödörfeltöltés menete:

- bejáróút építése (általában építési törmelékből vagy salakból) a közúttól a lerakótelepre;
- lejáróút építése hulladékból (tisztá töltés szelvényel) a gödörfenéig;
- a hulladékrétegek lerakása.

*A lerakás fázisai:*

*I. az ürítés:* a gyűjtő járművek a prizma koronasíkján ürítenek. Az ürítés a homloklaptól 3...5 m távolságban biztonságos;

*II. a gépi egyengetés:* az ürített hulladékot a prizma építési irányába tolják az erre rendszeresített géppel (pl. dózerral);

*III. a takarás:* a koronasíkot és a prizma oldalfelületeit géppel és kézi erővel takarják, földdel terítik be.

Az I...III. fázis szakaszosan ismétlődik, így mindig csak a minimális hulladékfelület van szabadon. A technológiai fegyelem betartásánál a környezetszennyezés minimális. A lerakásra alkalmas terület alakja, nagysága, mélysége, környezete, stb. az egyes rétegek kialakításában különféle prizmakialakítási változatokat kíván meg.

Ennek az *elrendezésnek az az előnye*, hogy a lerakott hulladék *kellően levegőzik, s a könnyen bomló szerves anyag* - benne levő mikroorganizmusok hatására - *aerob körülmények között, nagy sebességgel lebomlik*. Eközben hő is termelődik, s az 55°C feletti hőmérséklet 3 nap alatt képes elpusztítani a betegséget okozó (humán patogén) baktériumok nagy részét. A gödörfeltöltés ellenőrzött prizmás lerakás nem jár a lebomlást akadályozó kiszáradással, nem okoz öngyulladást sem.

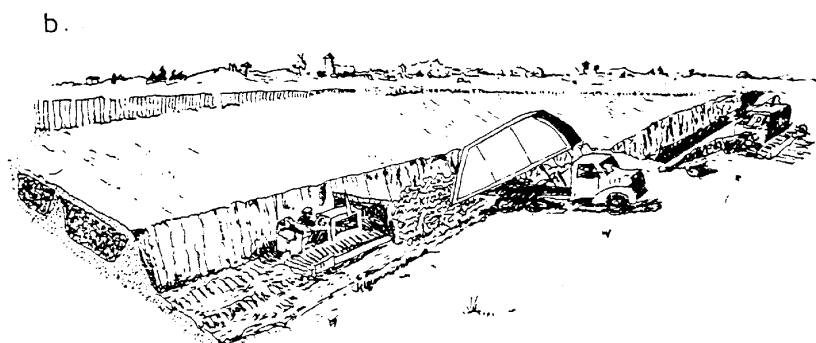
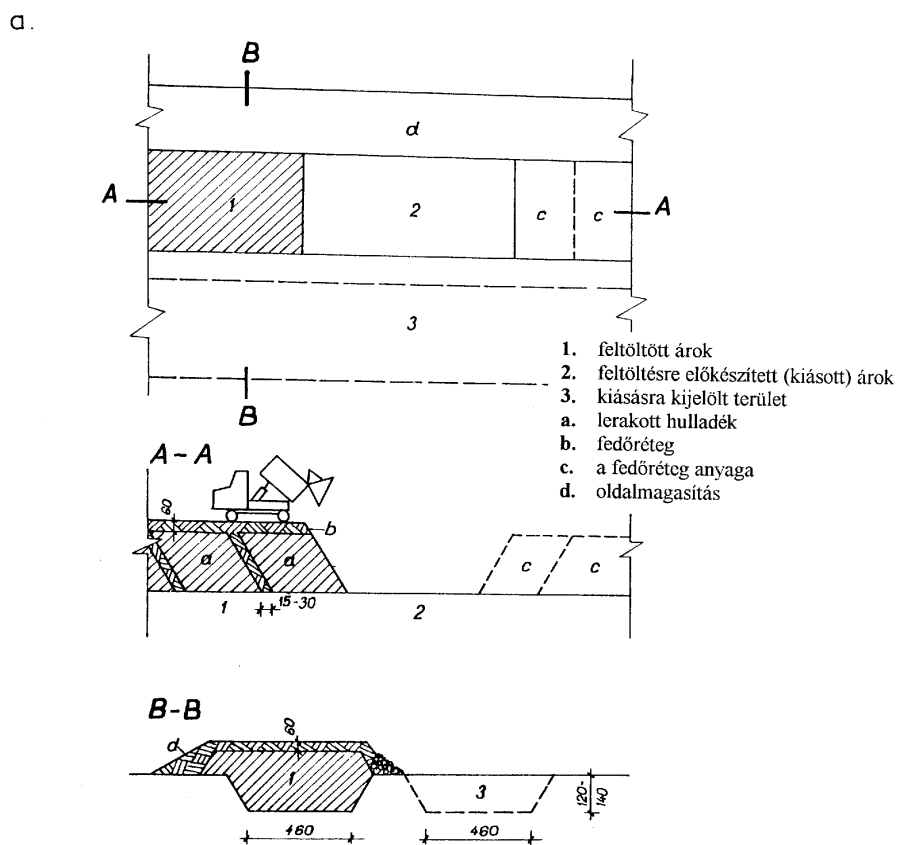
### **8.1.2. Osztott árkos rendszerű lerakás**

Az osztott árkos rendszerű lerakás csak ott jöhet számításba, ahol a *természeti adottságok önmagukban is biztosítják a megfelelő védelmet*. Ennél a módszernél a területen egy hosszú, keskeny árkot ásna, ami általában 25...80 m hosszú, 4...5 m széles és 2 m mély. A hulladékot az árok egyik lejtősen kialakított végébe rakják, speciális munkagépekkel szétterítik és tömörítik, majd a műszak végén az előzetesen kitermelt földdel betakarják, a **8.2. ábrán** látható módon kazettákat képezve. Amikor a teljes árkot eképpen feltöltötték, egy végső felszíni szigetelő réteg kerül a kazettákra, s a további hulladék lerakása egy párhuzamosan kialakított következő árokban történik (KISS G., 1992.).

### **8.1.3. Frontális lerakás**

A frontális lerakást hosszirányban elnyújtott, keskeny terület esetében célszerű alkalmazni. A prizma merőleges a lerakási front irányára, a nyitva hagyott, nem takart front szélessége rugalmasan igazítható a beérkező hulladék mennyiségéhez.

Takarni csak az egyik oldali rézsút és a koronasíkot kell, ez a módszer tehát takaróanyag-kímélő megoldás. A kialakításra mutat be példát a **8.3. ábra**. Az "a" és "b" ábrán bemutatott módszernél a különbség csak a beérkező hulladék kihelyezésében van.

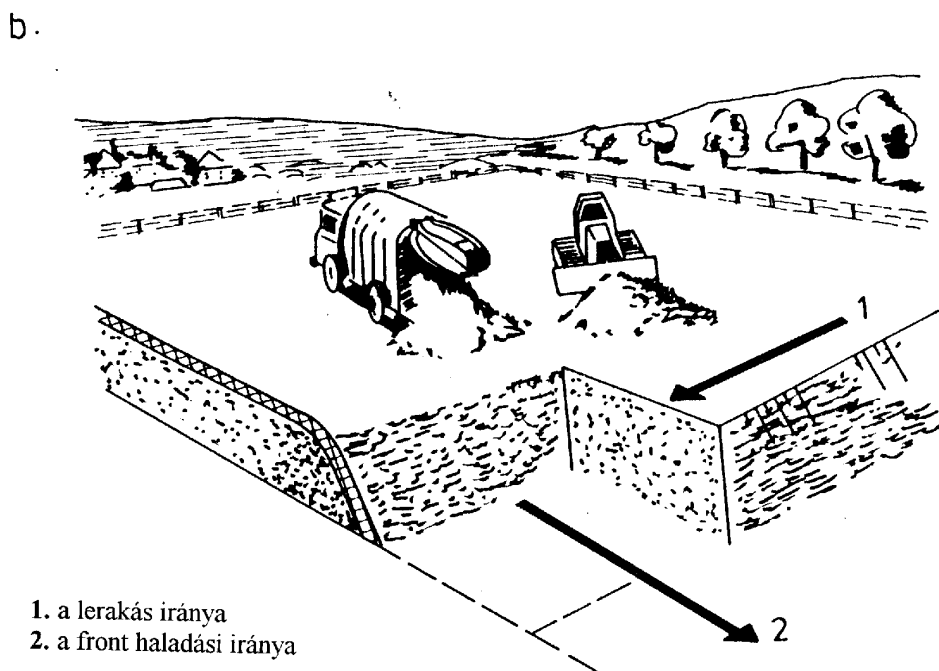
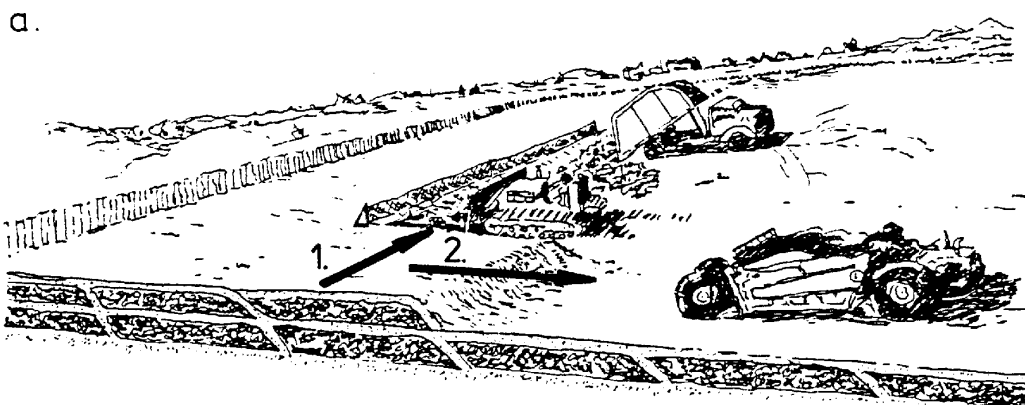


**8.2. ábra**

Osztott árkos rendszerű lerakás

a.: az árok kialakítására és a hulladék elhelyezése  
 (DÁVIDNÉ DELI M.; 1989.)

b.: az árkos rendszerű lerakó képe  
 (SURVEY OF SOLID WASTES MANAGEMENT PRACTICERS)



**8.3. ábra**

A frontális lerakás

*a.*: hulladék-beszállítás alulról

(SURVEY OF SOLID WASTES MANAGEMENT PRACTICERS)

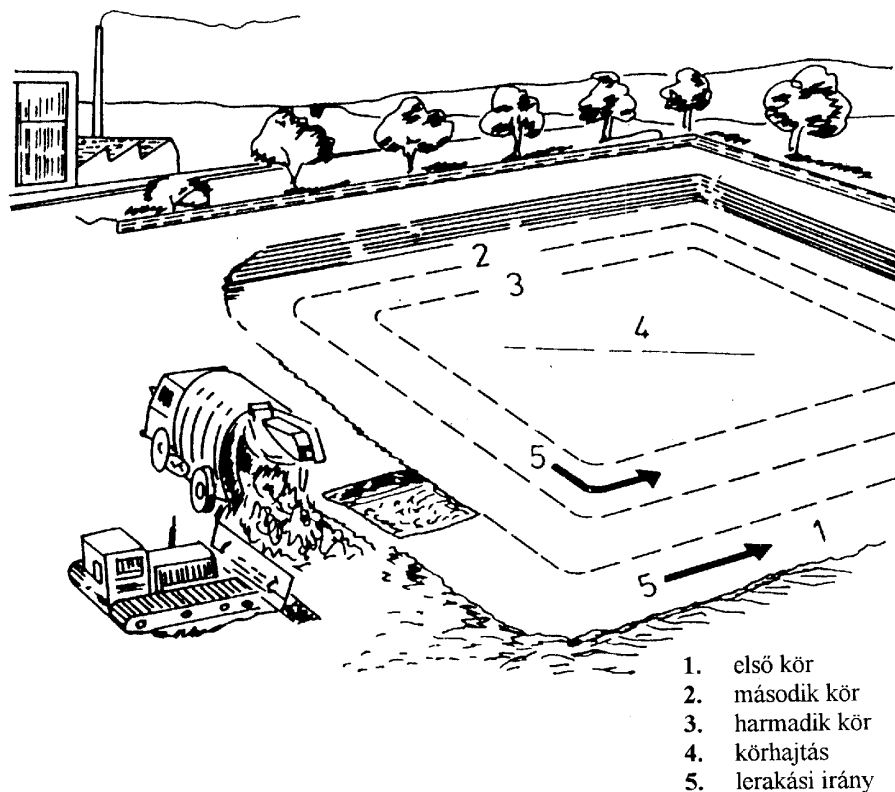
*b.*: hulladék-beszállítás felülről

(DÁVIDNÉ DELI M.; 1989.)



#### 8.1.4. Körszerű lerakás

A körszerű lerakás sík területen elhelyezkedő, nem túlságosan mély üregek esetében, 3...4 m-es prizmagasságnál alkalmazható. A lerakást körkörös, a külső szélektől a terület közepe felé végzik (8.4. ábra). Itt is csak az egyik oldali rézsút és a koronasíkot kell takarni, a módszer tehát módot nyújt a rendszerint szűkösen rendelkezésre álló takaróanyaggal való takarékoskodásra.



8.4. ábra

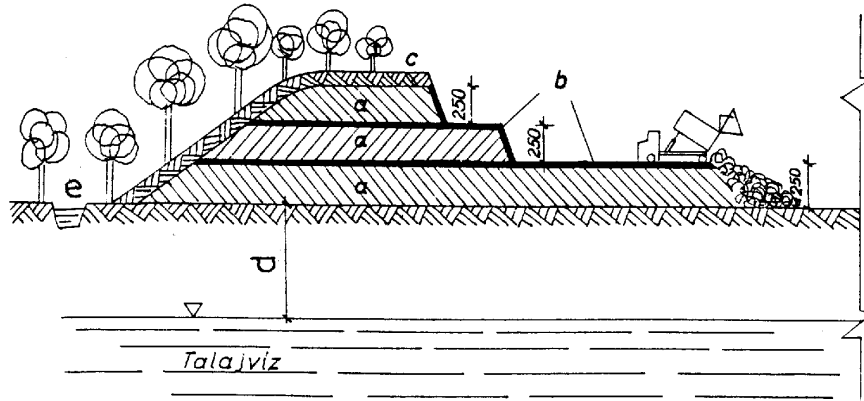
A körszerű lerakás vázlata

#### 8.1.5. Mesterséges dombépítés

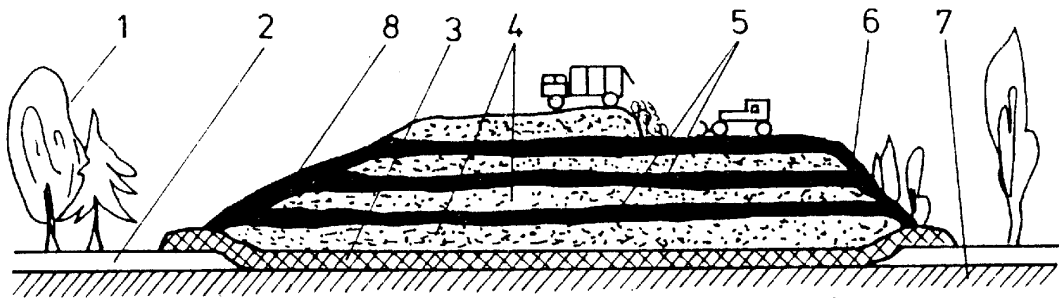
A mesterséges dombépítést elsősorban sík területen alkalmazzák. Egyre gyakrabban folytatják a gödörfeltöltést az eredeti terepszint elérése után mesterséges dombépítéssel, mivel mind nehezebb új lerakóhelyet találni, ill. területüket megszerezni, és egyre költségesebbé válik az új lerakó kialakítása a művelési ág megváltoztatása és az egyre szigorúbb követelmények miatt.

Alkalmazásával lehetővé válik, hogy hulladéklerakót létesítsenek magas talajvízállású területeken is. Építését azonban különösen gondosan kell mérlegelni, hogy beilleszkedjék a tájba. Az eljárás tulajdonképpen a gödörfeltöltés fordítottja: a mesterséges domb prizmákból álló rétegek egymásra rakásából épül fel (8.5. ábra).

- a.
- a. hulladék
  - b. fedőréteg
  - c. zárószigetelés
  - d. telítetlen zóna
  - e. csapadékvíz-elvezető árok



b.



- 1. védősáv
- 2. termőtalaj
- 3. aljazatszigetelés
- 4. hulladék
- 5. fedőréteg
- 6. zárószigetelés
- 7. altalaj
- 8. oldalrészű (max. hajlás: 1:2,5)

### 8.5. ábra

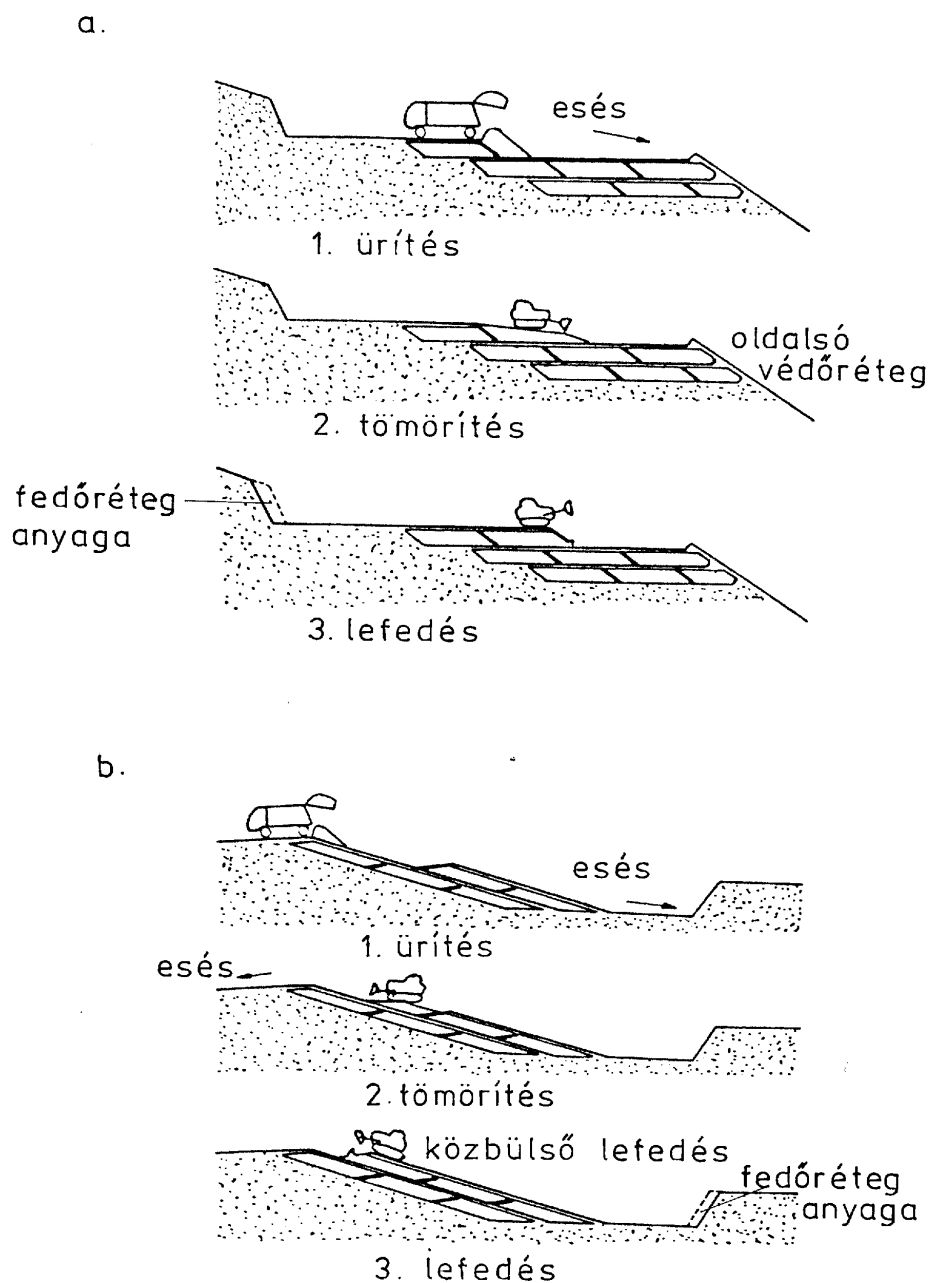
A mesterséges domb építése

**a.:** építés közbeni lerakó,

**b.:** a befejezés előtti állapot.

Előnye, hogy csak a domb alapfelületét kell szigetelni. Hátránya, hogy rekultivációkor nagyobb felületet kell fedni, s a takaró talajréteget a felhordása után védeni kell az eróziótól pl. azonnali füvesítéssel. További hátrányt jelent a rekultiváció során, hogy a rézsűkön a szárazság miatt nehezebb fás növényeket nevelni (a lefolyó és beszivárgó csapadék aránya rossz, a domborzati mikroklíma a déli és délnyugati oldalon a túlmelegedés miatt növeli a kiszáradás veszélyét). Az oldalrészű kialakításánál ügyelni kell az állékonysági viszonyokra és a takaróréteg esetleges megcsúszásának veszélyére.

A hulladék lerakásának módja természetesen éppúgy függvénye a lerakó típusának mint a helyi körülményeknek, mint ahogy azt a **8.6. ábra** szemlélteti. Közel sík területen az "a" változat, erősen dőlt térszínen (pl. völgyfeltöltésnél) a "b" változat az előnyösebb.



**8.6. ábra**

A hulladék elhelyezése a területi adottságok figyelembevételével:

- a.:** lerakás közel sík területen,
  - b.:** lerakás erősen dőlt térszínen
- (SCHENKEL, 1974.).

### 8.2. A veszélyes hulladékok lerakása

A veszélyes hulladékok gyűjtését, tárolását és lerakással történő ártalmatlanítását a 102/1996. (VII.12.) Korm. rendelet 10.12. melléklete szabályozza.

A rendelet a *gyűjtőhely* fogalmát a következőképpen adja meg: hulladékgyűjtő udvar a termelőktől begyűjtéssel átvehető veszélyes hulladékok elhelyezésére szolgáló gyűjtőhely, amelyen elhelyezhetők a háztartásokból begyűjtött veszélyes hulladékok is. A gyűjtőhely kialakítható nyílttéri vagy fedett módon a rendelet 1. Függelékének 1.1. és 1.2. pontjában meghatározottak szerint. A környezetvédelmi hatóság engedélyt adhat a gyűjtőhelynek a technológiai épületben való kialakítására és üzemeltetésére - egyedi esetként vizsgálva - annak a gazdálkodó szervezetnek, amely egy telephelyen öt vagy ennél kisebb létszámmal működik.

A gyűjtőhelyen tovább nem tartható és igénybevehető kapacitás, illetve alkalmazható technológia miatt nem hasznosítható vagy ártalmatlanítható veszélyes hulladékok meghatározott időre (legfeljebb azonban három évre) engedélyezett tárolását a fenti szabályzat idézett függelékének 2. pontja szerinti műszaki védelemmel rendelkező, és a szabályzat szerint épített és üzemelő *tároló-előkezelő telepen* lehet elhelyezni.

A rendelet szerint az I. és II. veszélyességi osztályúnak minősített veszélyes hulladékok kizárólag rendezett, a környezetre veszélyt nem jelentő, több egymástól függetlenül is hatékony elemekből álló védelmi rendszerrel kialakított *lerakótelepen* ártalmatlaníthatók. A lerakótelepen kizárólag nem hasznosítható, továbbá más módszerrel (pl. égetéssel) nem ártalmatlanítható veszélyes hulladékok rakhatók le. A lerakótelep a lerakással ártalmatlanítandó veszélyes hulladék anyagi minőségének megfelelően kialakított *monodeponia* kialakításának eleget kell tennie legalább az 1. Függelék 3.3. pontjában meghatározott követelményeknek.

Ebben a fejezetben a veszélyes hulladékoknak a lerakóban (felszíni- vagy felszínközeli depóniák, tárolószerűen kialakított lerakók) történő elhelyezési problémáit tekintjük át.

#### 8.2.1. A veszélyes hulladékok előkezelése

A veszélyes hulladék keletkezésekor a szállításra és a rendezett biztonságos lerakásra többnyire alkalmatlan, az előkezelés általában elkerülhetetlen. A megfelelő kezelés szempontjából nagy jelentősége van *az elkülönített (szelektív) gyűjtésnek*. A vegyesen gyűjtött veszélyes hulladék nemcsak másodnyersanyagként nem használható fel, hanem biztonságtechnikai problémákat is okozhat, mivel az összeférhetetlen (inkompatibilis) anyagok együttes tárolása tűz- és robbanásveszéllyel, a toxikus anyagok kioldódásával, hőfejlődéssel, ill. éghető és/vagy toxikus gáz fejlődésével, vegyi reakciók kialakulásával járhat, ami veszélyes és nem kívánatos.

**8.2. táblázat**

**Egymással összeférhetetlen hulladékok \***

Az A csoportba tartozó anyagok nem keveredhetnek a B csoportba tartozókkal, mert ennek következménye hőfejlődés, robbanás, gázfejlődés, ill. heves reakció lehet!

**1. csoport: hőfejlődés, heves reakció**

| 1-A                                                                                                                                                                                                                                        | 1-B                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Acetiléniszap<br>Lúgos, maró folyadék<br>Lúgos tisztítószer<br>Korrozív, lúgos folyadék<br>Korrozív, lúgos akkumulátor folyadék<br><br>Lúgos szennyvíz<br>Mésziszap és más korrozív alkáliák<br><br>Mésztartalmú szennyvíz<br>Használt lúg | Savgyanta<br>Savas oldat<br>Akkumulátorsav<br>Savas elektrolit<br>Maratósav vagy oldószer<br>Folyékony tisztítószer<br>Páclé és más korrozív savak<br>Savas iszap<br>Használt sav<br>Használt savkeverék<br>Használt kénsav |

**2. csoport: tűz- és robbanásveszély, toxikus anyagok keletkezése**

| 2-A                                                                                                                                      | 2-B                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Azbeszthulladék és más toxikus hulladék<br>Berilliumhulladék<br>Kiöblítetlen növényvédőszer-göngyöleg tartály<br>Növényvédőszer-hulladék | Tisztításra használt oldószer<br>Fel nem használt robbanóanyag<br>Kőolajszármazék<br>Finomítói hulladék<br>Oldószer<br>Hulladékolaj és más tűz- és robbanásveszélyes hulladék |

**3. csoport: tűz- és robbanásveszély, hidrogéngáz felszabadulása**

| 3-A                                                                                                                         | 3-B                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Alumínium<br>Berillium<br>Kalcium<br>Lítium<br>Magnézium<br>Kálium<br>Nátrium<br>Cinkpor és más aktív fémek és fém-hidridek | Minden 1-A és 1-B csoportba tartozó hulladék |

8.2. táblázat  
(folytatás)**4. csoport:** tűz- és robbanásveszély vagy hőfejlődés, gyúlékony vagy toxikus gázok keletkezése

| 4-A              | 4-B                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alkoholok<br>Víz | Minden az 1-A vagy az 1-B csoportba tartozó hulladékkoncentrátum<br>Kalcium<br>Lítium<br>Fém-hidridek<br>Kálium<br>Nátrium<br>SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , SOCl <sub>2</sub> , PCl <sub>3</sub> , CH <sub>3</sub> SiCl <sub>3</sub> és minden vízzel reagáló hulladék |

**5. csoport:** tűz- és robbanásveszély, heves reakció

| 5-A                                                                                                                                                       | 5-B                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Alkoholok<br>Aldehidek<br>Halogénezett szénhidrogének<br>Szénhidrogének és más reakcióképes szerves vegyületek és oldószerek<br>Telítetlen szénhidrogének | Hulladékkoncentrátumok az 1-A vagy az 1-B csoportból<br><br>Hulladékok a 3-A csoportból |

**6. csoport:** Toxikus hidrogén-cianid- vagy hidrogén-szulfid-gáz keletkezése

| 6-A                                | 6-B                    |
|------------------------------------|------------------------|
| Használt cianid- és szulfidoldatok | 1-B csoport hulladékai |

**7. csoport:** tűz- és robbanásveszély vagy heves reakció

| 7-A                                                                                                                                                              | 7-B                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Klorátok és más erős oxidálószer<br>Klór<br>Kloritok<br>Krómsav<br>Hipokloritok<br>Nitrátok<br>Salétromsav, füstölő<br>Perklorátok<br>Permanganátok<br>Peroxidok | Ecetsav és más szerves savak<br>Koncentrált ásványi savak<br>2-B csoport hulladékai<br>3-A csoport hulladékai<br>5-A csoport hulladékai és más tűzveszélyes és gyúlékony hulladékok |

\* A táblázat az USA California Dept. of Health "Hazardous Waste Management Law, Regulations, and Guidelines for the Handling of Wastes, 1975" alapján készült (FEHÉR: Veszélyes hulladékok, 1984.)

A **8.2. táblázat** tartalmazza az egymással összeférhetetlen hulladékok felsorolását, feltüntetve a várható veszélyt. A **8.7. ábra** a vegyi anyagok lerakhatóságával kapcsolatos kompatibilitási, ill. inkompatibilitási viszonyokat szemlélteti.

*Az előkezelés célja*, hogy a veszélyes hulladék mennyisége és veszélyessége csökkenjen, vagy további kezelhetősége előnyösen változzon (BALTHAZÁR, 1993.).

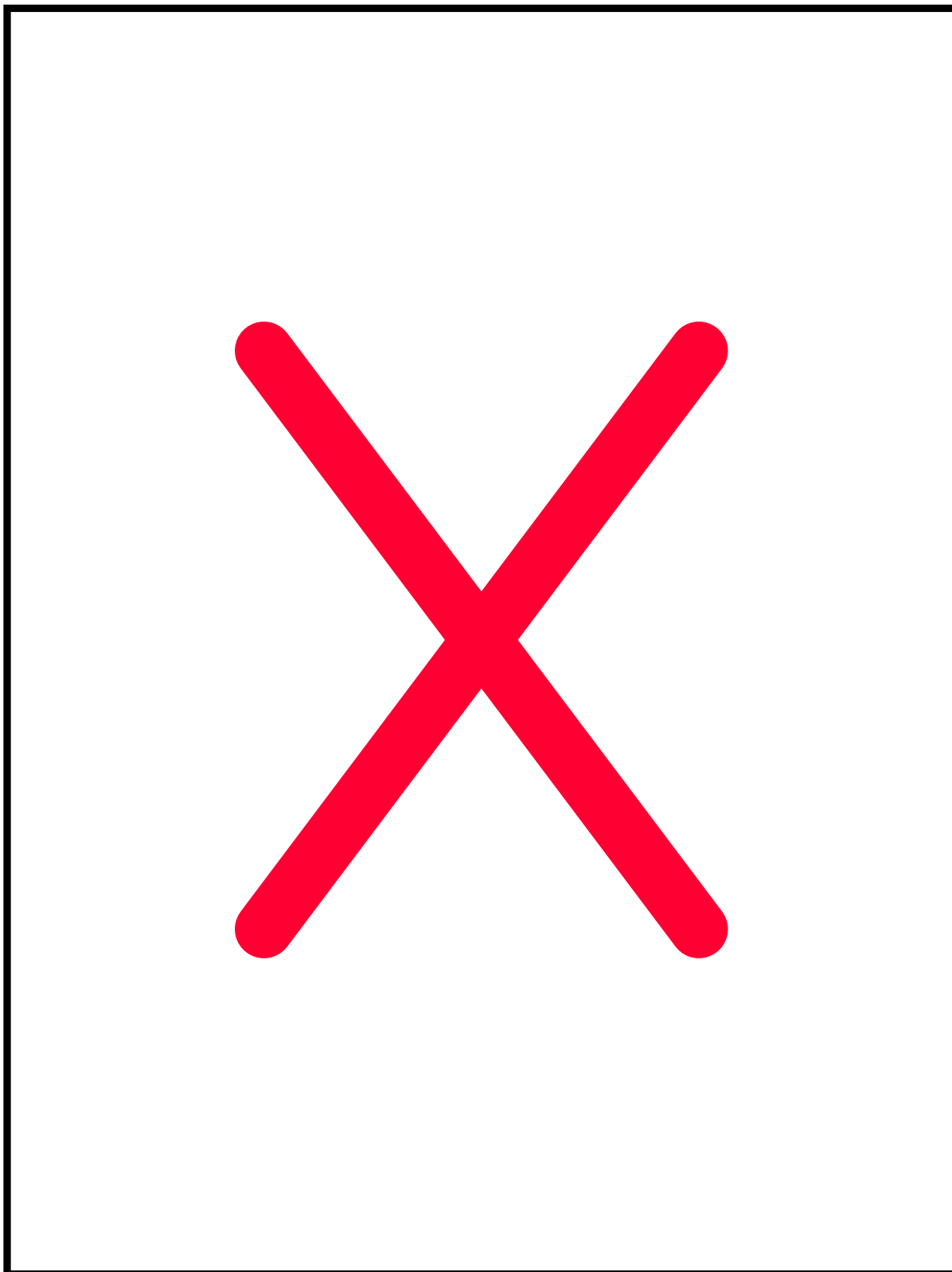
Az előkezelés első fázisa legtöbb esetben a *semlegesítés*. Savakat vagy lúgokat tartalmazó veszélyes hulladékot szállítani nem célszerű, lerakni pedig ésszerűtlen. A semlegesítést ott célszerű elvégezni, ahol a hulladék keletkezik, mivel a semlegesítés viszonylag könnyen kivitelezhető. A semlegesítés általában hőfejlődéssel jár együtt, de előfordulhat jelentős gázképződés és habzás is.

Az előkezelés a legtöbb esetben *víztelenítéssel* vagy szerves oldószer esetén *oldószermentesítéssel* folytatódik. A víztelenítés nem mindig egyszerű feladat. Léteznek olyan kolloid rendszerek, pl. iszapok, amelyek vízmegtartó képessége igen nagy, spontán vízkiválás csak igen lassan megy végbe. A nagy víztartalmú iszapok sűrítése sokszor csak különleges, erre a célra kialakított eszközökkel lehetséges. Egyszerűbb esetekben centrifugával vagy szűrőpréssel megoldható a víztelenítés. A cél az ideális állapot elérése, vagyis az, hogy a korábban folyadékhoz hasonlóan viselkedő veszélyes hulladék lapátolhatóvá váljon.

Szerves oldószert tartalmazó veszélyes hulladék esetén az *oldószer-mentesítésnek* gazdasági célja is van: az oldószer visszanyerése. A visszamaradó anyag lehet szilárd vagy folyékony állapotú.

Az előkezelés során olyan állapotba kell hozni a veszélyes hulladékot, hogy az megfelelően csomagolható, veszélytelenül szállítható, majd biztonságos rendezett lerakón való végső elhelyezéssel ártalmatlanítható legyen.

A veszélyeshulladék-kezelésnek igen fontos eleme a *beágyazás*. A beágyazási eljárásokkal a *3.2.3.2. fejezet* foglalkozik.



**8.7. ábra**

A vegyi anyagok együttes lerakhatóságával kapcsolatos kompatibilitási,  
illetve inkompatibilitási diagram  
(RUSHBROK, 1990.)



### **8.2.2. A veszélyes hulladékok elhelyezési módszerei**

Az érvényes rendeletek szerint lerakótelepeken a más módszerrel nem, vagy csak aránytalanul nagy költséggel ártalmatlanítható mérgező hulladékokat lehet lerakni.

Tilos a lerakótelepen lerakni

- éghető veszélyes hulladékokat;
- tűzveszélyes, illetve fokozottan reakcióképes veszélyes hulladékokat;
- gyorsan bomló szerves anyag hulladékokat.

Előkezelés nélkül tilos lerakni

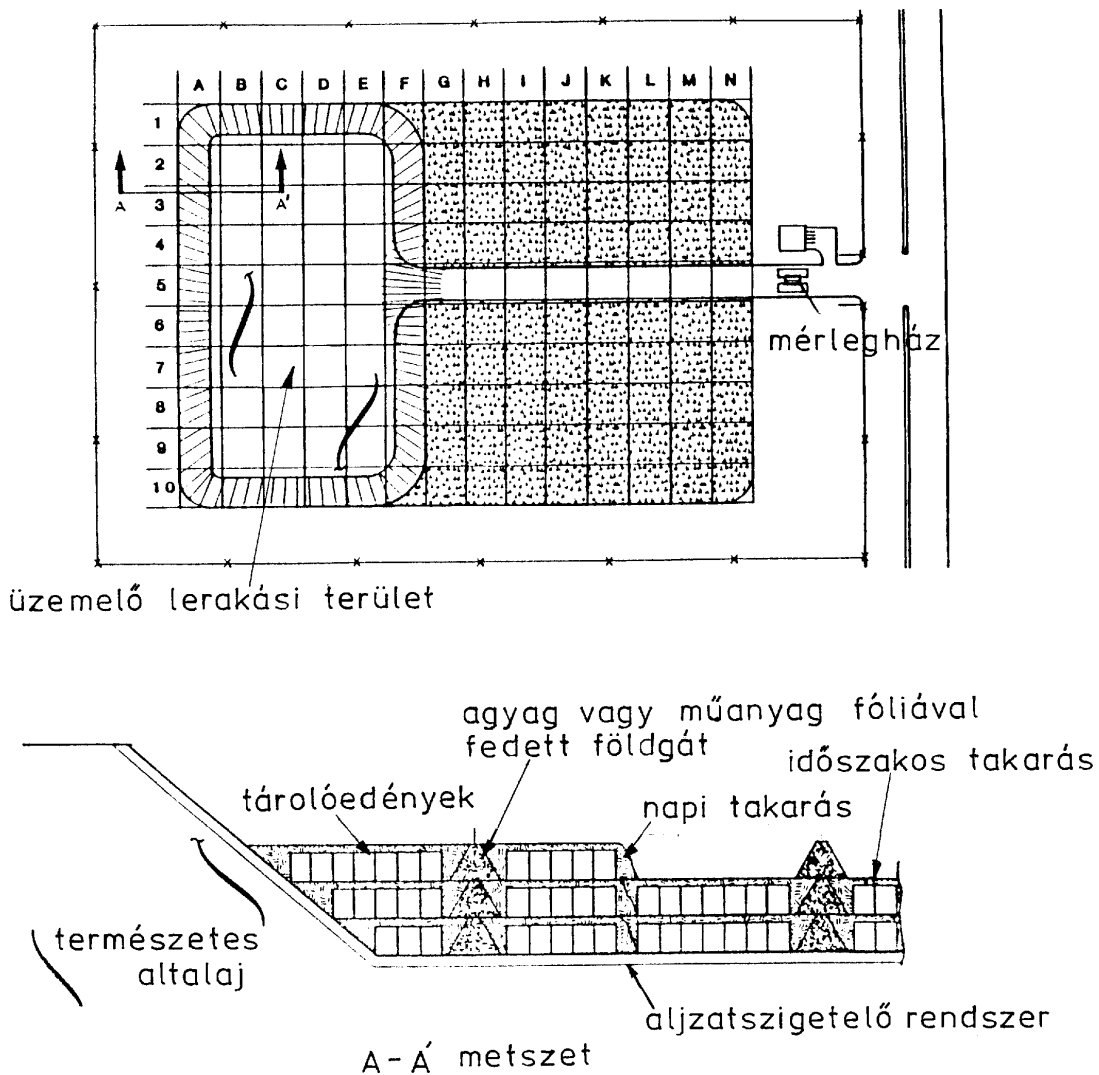
- a veszélyes folyékony hulladékokat.

Az I. és II. veszélyességi osztályú hulladékok kizárólag csak rendezett, a környezetre veszélyt nem jelentő, több egymástól függetlenül is hatékony elemből álló védelmi rendszerrel kialakított lerakóhelyen ártalmatlaníthatók. A szigetelőrendszer felépítésének hazai szabályozását a 6.2.2.1.4. fejezet tartalmazza.

A III. veszélyességi osztályú hulladékok műszaki védelemmel is rendelkező települési szilárdhulladék-lerakótelepen is ártalmatlaníthatók. Azonban a lerakásnak és üzemeltetésnek a települési hulladéktól területileg elkülönítve, környezetvédelmi szempontból biztonságosan kialakított műszaki védelemmel történhet. A lerakáshoz a környezetvédelmi hatóság előzetes engedélye szükséges.

A megkívánt védelmi rendszerrel kialakított veszélyeshulladék-lerakótelepekre beérkező veszélyes hulladékok elhelyezésénél általános technológiai módszer nehezen adható meg. Minden egyes lerakó egyedi mérnöki létesítmény, s a lerakás technológiája is egyedi.

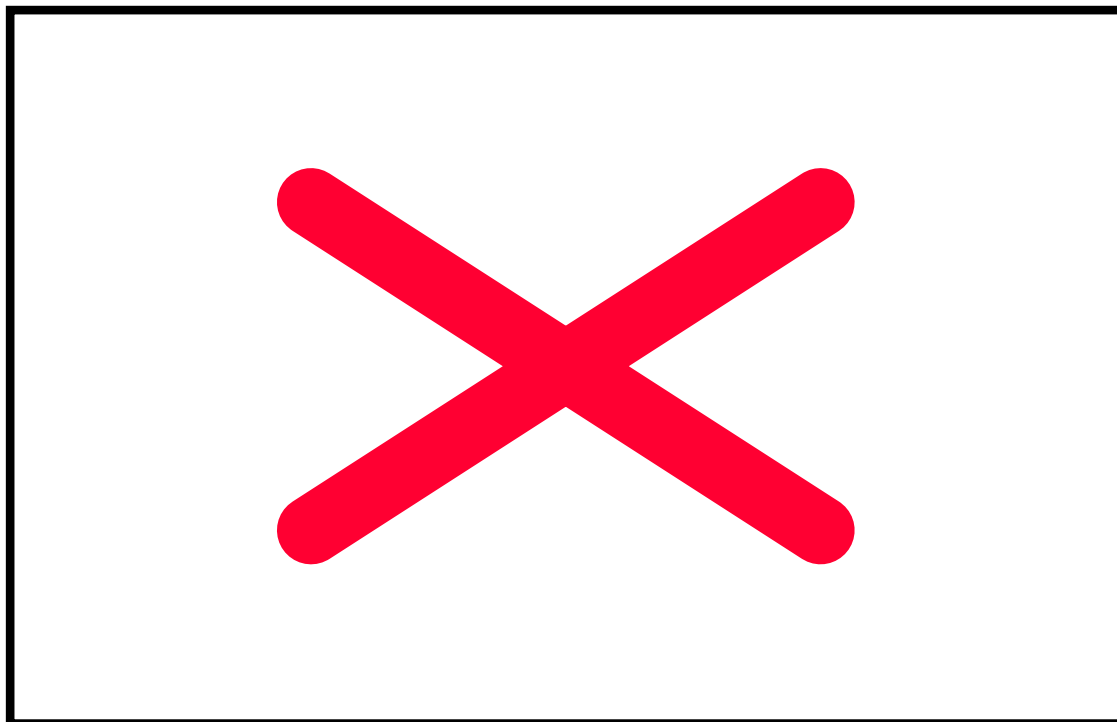
*Az I. veszélyességi osztályba tartozó hulladékok lerakása célszerűen a szállítás során is használt csomagolóeszközökkel (hordók, konténerek) együtt történik (pl. Aszód, lásd **6.4. ábrán**). A minél előbbi végleges lezárás érdekében a tárolóedények elhelyezése szakaszosan kialakított kazettákban történik. A végleges lezárást megelőzően célszerű a tárolóedényeket időszakos takarással ellátni (**8.8. ábra**), vagy a kívánt szint elérésekor a konténerek közötti teret kitölteni (pl. betonnal). Előre beépített cellákban történő elkülönített lerakást mutat be a **6.104. ábra**. A számos lehetőséget jól szemléltetik a **6.4. fejezetben** részletesen ismertetett *tárolószerűen kialakított hulladéklerakók* (**6.99.-6.105. ábrák**), amelyek mindegyike alkalmas az I. veszélyességi osztályú hulladékok elhelyezésére, azonban mint azt láttuk, rendkívül költséges megoldásokról van szó.*



8.8. ábra

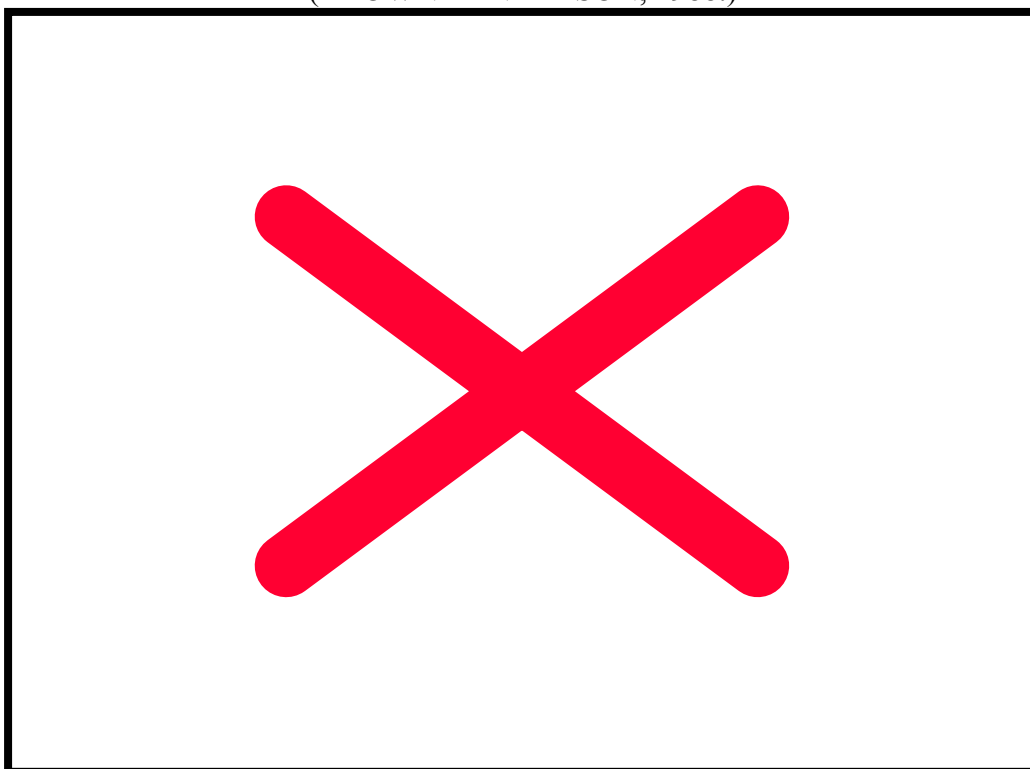
Veszélyes hulladék tárolóedények kazettákban való elhelyezése  
(WRIGHT - ROSS - TAGAVA, 1988.)

Az ömlesztve érkező és egymással összeférhető, valamint a II. veszélyességi osztályba sorolt hulladékok - előkezelés után - elhelyezhetők felszínközeli kialakított tárolómedencékben, vagy a felszínen épített dombszerű lerakóban is, alapkövetelmény azonban a keletkező csurgalékvíz minimalizálása, így elsősorban az ideiglenes tetőszerkezet védelme melletti lerakás jöhet szóba (lásd a 6.70.-6.71. ábrákon). Rendkívül lényeges, hogy a végleges lezárás a tetőszerkezet védelme mellett történjék meg, a csapadékvíz távoltartása érdekében. Üzem közbeni lefedés védelme mellett épített lerakókra mutatnak be példákat a 8.9.-8.11. ábrák.



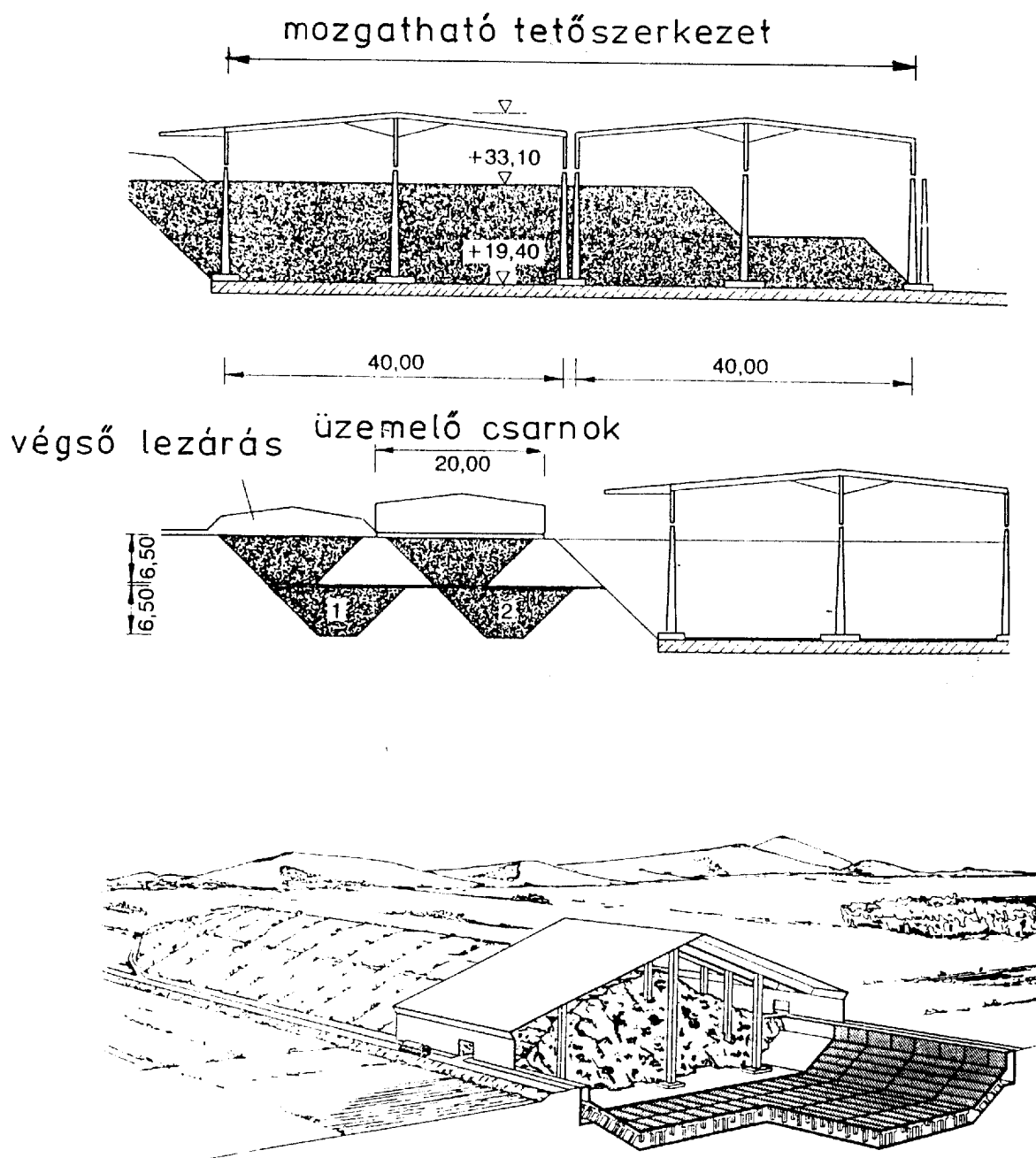
**8.9. ábra**

Szilárdított-veszélyeshulladék-lerakó vázlata  
(BROWN - ANDERSON, 1988.)



**8.10. ábra**

Veszélyeshulladék-lerakó metszete  
(BROWN - ANDERSON, 1988.)



8.11. ábra

Üzem közbeni lefedés mellett történő veszélyes hulladék elhelyezés (SCHMIED, 1992.)

### 8.3. A rendezett lerakó megközelítése

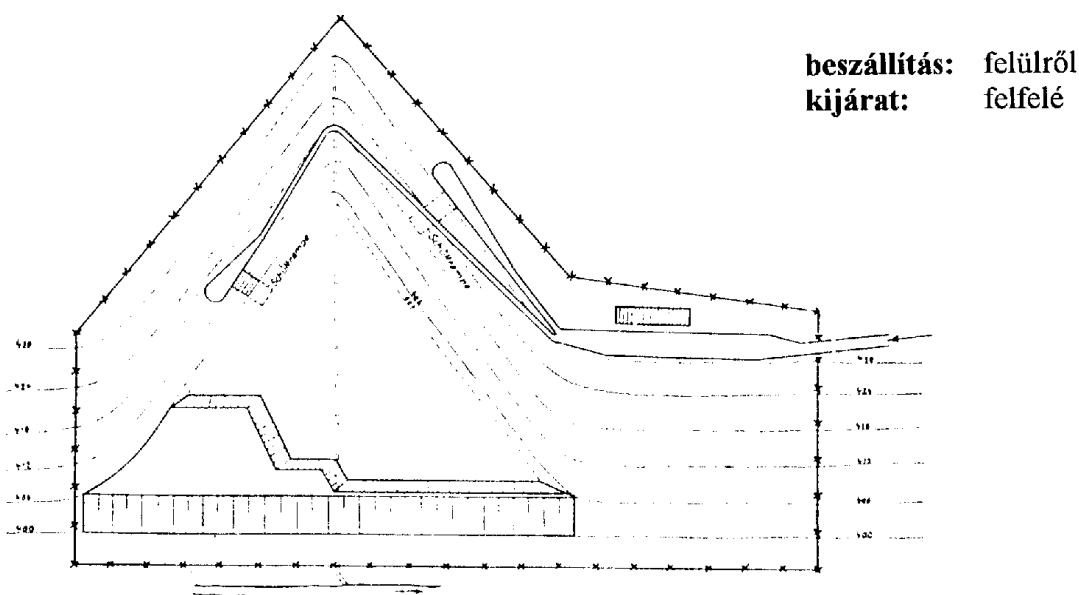
A lerakó és a legközelebbi közút között a forgalomnak megfelelő szélességű és teherbírású utat kell építeni a lerakón belüli utakhoz csatlakoztatva. Az út olyan legyen, hogy esős időben is meg lehessen közelíteni a lerakót.

A lerakón belül kialakított utak egy részét a lezárásig terjedő időtartamig használják, az utak másik részét az üzemelés alatt a feltöltés helyének változtatásakor fokozatosan felszámolják, ezt a kialakításuk során figyelembe kell venni.

A belső utak vonalvezetése, hossza, anyaga a lerakódó adottságainak a függvénye, szélességüket és terhelhetőségüket a várható járműforgalom és járműtípusok szerint kell meghatározni. A jelenleg elterjedt gyűjtő járművek tervezésekor célszerű 6,5..7,5 m szélességet, 22,5 m görbületi sugarat választani. Ügyelni kell a látótávolságra, az egy nyomsávú utakon az üres járművek számára kitérőket kell építeni. Az utak emelkedése max. 10%, a keresztirányú lejtés 1,5...2,5% legyen. Lehetőség szerint a lejtőkre merőleges vonalvezetést kell tervezni.

A telepre bevezető utat kerékmosó tálcával kell ellátni (25 m hosszú, 4 m széles, 40 cm mély vízréteg). Az utak mentén vízelvezető árkokat kell kialakítani és ezek csapadékvizét a lerakó szivárgó vizével együtt kell gyűjteni és kezelni. Az utakat állandóan jó karban kell tartani.

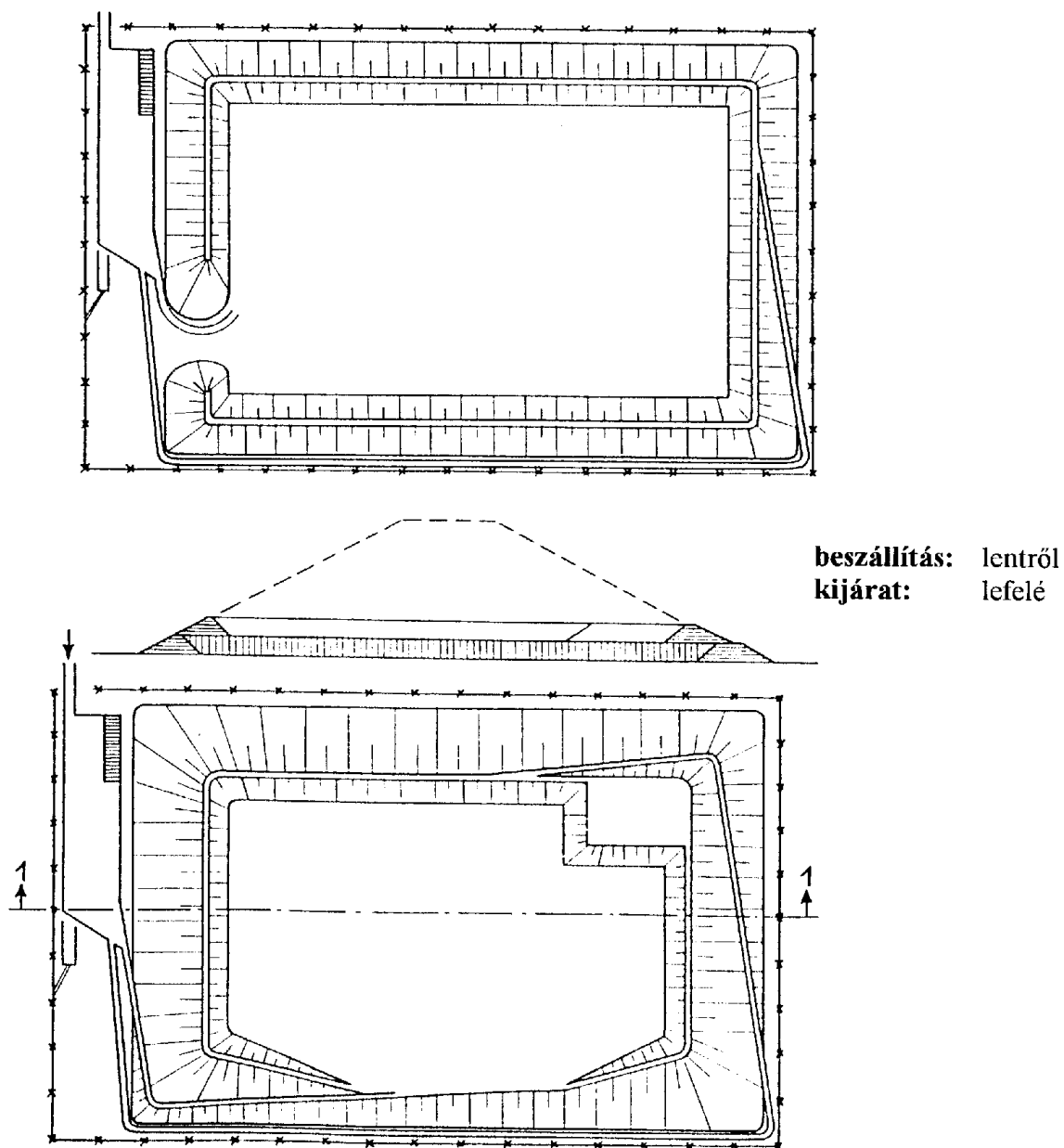
Az útburkolatok anyagát a helyi körülmények és a pénzügyi lehetőségek ismeretében kell kiválasztani. A bevezetőutak és a lerakó állandó belső útjai lehetnek betonozott vagy bitumenes felületűek, a belső utak készülhetnek előre gyártott, áthelyezhető elemekből is, ha az egyszerűbb megoldások a nagy forgalom miatt nem kielégítőek.



8.12. ábra

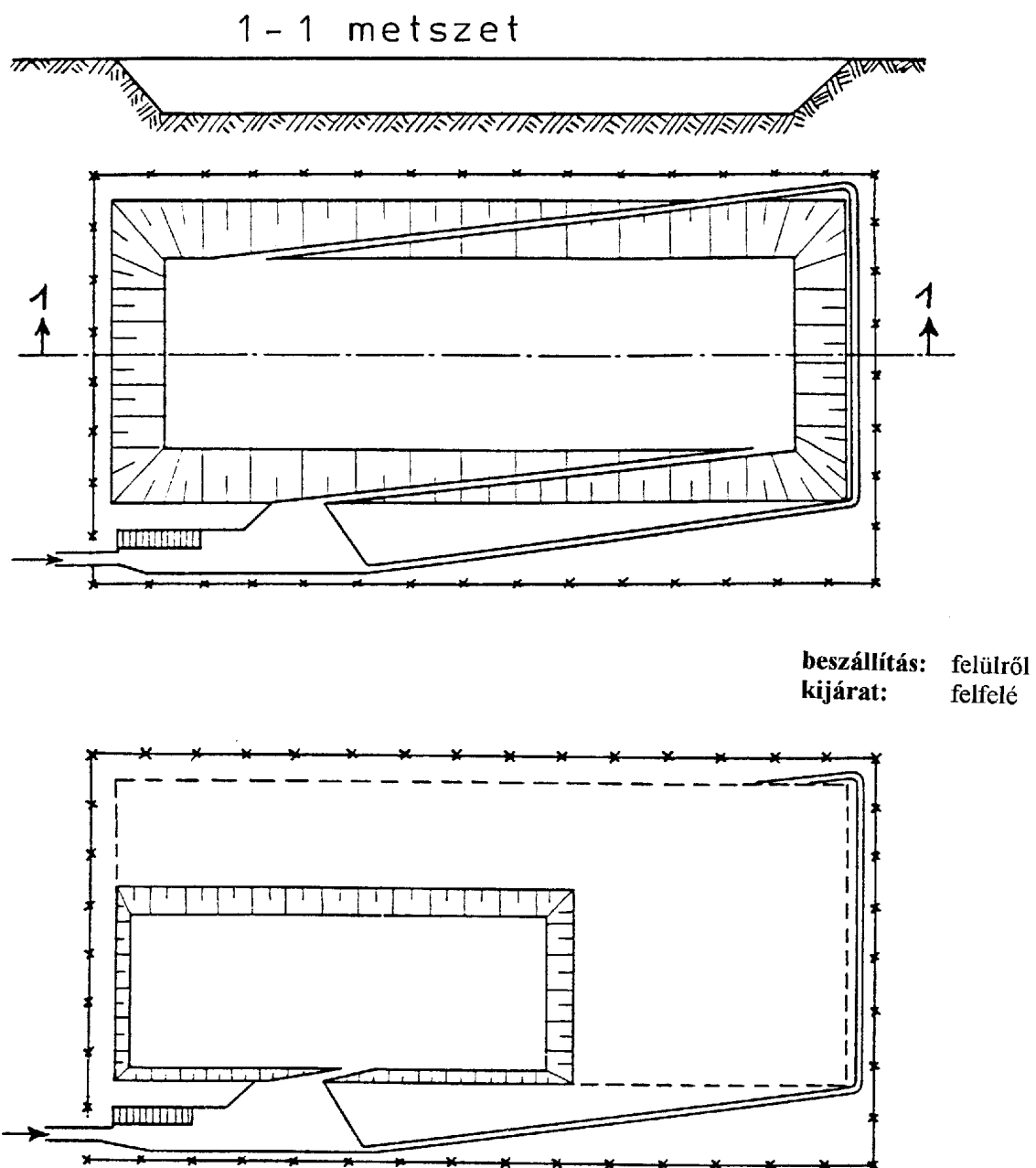
A rendezett lerakó megközelítése völgyfeltöltés esetén  
(SCHENKEL, 1974.)

Völgyfeltöltéssel, dombépítéssel, gödörfeltöltéssel épülő depóniák belső úthálózatának kialakítását szemléltetik a 8.12-8.14. ábrák.



8.13. ábra

A rendezett lerakó megközelítése dombépítés esetén  
(SCHENKEL, 1974.)



**8.14. ábra**  
A rendezett lerakó megközelítése gödőfeltöltés esetén  
(SCHENKEL, 1974.)

#### 8.4. A lerakótelep járulékos létesítményei

A könyv elsősorban a lerakótelep technológiai létesítményeinek a tervezési, kialakítási problémáival foglalkozik és nem célja a segéd- és kiszolgálólétesítmények tervezésével kapcsolatos kérdések részletes ismertetése. Ezért ebben a fejezetben csak megemlítjük azokat a járulékos létesítményeket, amelyek a lerakótelep üzemeltetéséhez, a környezetvédelmi elvárások betartásához ugyancsak szükségesek. A **6.11. ábrán.**, amely a rendezett lerakó modelljét szemlélteti, megtalálhatók a fentiekben említett járulékos létesítmények, amelyek a következők:

- közlekedési terület,
- közművek,
- iroda és szociális helységek,
- karbantartást és javítást szolgáló műhelyek,
- mérleg.

Külön kell megemlítenünk a *csapadékvizek távoltartására (pl. domboldalon), ill. összegyűjtésére és elvezetésére szolgáló árokrendszert (belső csapadékvíz-elvezető árok, övárók)*. A lerakott hulladékkal esetleg érintkező, kapcsolatba kerülő csapadékvizet össze kell gyűjteni, és csak a szükséges kezelés megtörténte után szabad a telepről kivezetni. A lerakóról kikerülő felszíni vizekkel kapcsolatos követelményeket az illetékes szakhatóság írja elő és ő jelöli ki a víz befogadóját is.

A közvetlenül *felszíni vízbe vezethető víz szennyezettségét* a vízminőségi szempontokat figyelembe vevő, az egyes területek eltérő besorolása szerinti határértékeket megadó *3/1984. (II.7.) OVH sz. rendelet*, a közcsatornába elhelyezhető szennyvizek minőségét a *4/1984.(II.7.) OVH sz. rendelet* szabályozza.



## 8.5. Irodalomjegyzék

*BALTHAZÁR ZS. (1993):*

A veszélyes hulladék biztonságos lerakása

ÁRVAI J. (szerk): Hulladékgazdálkodási kézikönyv pp. 480-499.

Műszaki Könyvkiadó

*BROWN, K.W-ANDERSON, D.C (1988):*

Aboveground disposal of hazardous waste

Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal (ed.: FREEMAN, H.M.)

Mc Graw-Hill Book Comp. pp. 10.85.-10.91.

*BUNYEVÁ CZ J.-VÁRNAI P.-KABAI J.-KABAI JNÉ (1980):*

Tervezési útmutató a veszélyes hulladékok lerakással történő elhelyezéséhez

DÉLTERV, Pécs, Kézirat

*DÁVIDNÉ, DELI M. (1989):*

Környezetvédelem

Tankönyvkiadó, Bp. Egyetemi jegyzet

*DAVIS, M.L.-CORNWELL, D.A. (1985):*

Introduction to Environmental Engineering

McGraw-Hill Inc.

*FEHÉR L. (1984):*

Veszélyes hulladékok

Műszaki Könyvkiadó, Bp.

*GORDON, M.E. (1987):*

Design and performance monitoring of clay-lined landfills

Proc. ASCE Spec. Conf. Geotechnical Practice of Waste Disposal, Ann. Arbor, pp. 500-513.

*GOSSOW, V. (1985):*

Construction of a large storage for critical waste

Engineering Geology, 21. pp. 349-358.

*KERTÉSZ GY. - MANN T. (1993):*

A hulladék végső elhelyezése

Hulladékgazdálkodási kézikönyv (szerk.: ÁRVAY Z.,) pp. 424-458.

Műszaki Könyvkiadó, Bp

*KISS G. (1992):*

Szilárd kommunális hulladékok felszíni elhelyezése

Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai Mérnökgeológiai Tanszék, Diplomaterv.

*LANDVA, A.-KNOWLES, G.D. (1990):*

Geotechnics of Waste Fills-Theory and Practice

ASTM-STP 1070

*RUSHBROCK, P.E. (1990):*

Co-disposal of industrial wastes with municipal solid wastes

Resources, Conservation and Recycling, 4. pp. 33-49.

*SCHENKEL. W. (1974):*

Die geordnete Deponie von festen Abfallstoffen. Theoretische Grundlagen und praktische Durchführung

Beihefte zu Müll und Abfall, H.9.

*SCHMID, G. (1992):*

Deponietechnik  
Vogel Buchverlag

*THOME-KOZMIENSKY, K.J. (1987):*

Deponie. Ablagerung von Abfällen  
EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH.

*THOME-KOZMIENSKY, K.J. (1988):*

Behandlung von Sonderabfällen 2.  
EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH.

*WRIGHT, TH.D. - ROSS, D.E., - TAGAVA, L. (1988):*

Hazardous waste landfill construction: the state of the art  
Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal (ed.: FREMANN, H.  
M.), pp. 10.1-10.23.  
McGraw Hill Book Comp

## 9. FEJEZET

### A MEGFIGYELŐRENDSZER

Egy hulladéklerakó minden esetben - még ha a kor követelményeinek megfelelő védelemmel rendelkezik, akkor is - egy potenciális szennyezőforrást jelent a környezetre, ezért szükséges, hogy megfelelő ellenőrző-megfigyelő (monitoring) rendszerrel rendelkezzen. A lerakó üzemelése alatt és bezárása után is folyamatosan ellenőrizni kell:

- az elsődleges technológiai létesítmények (tárolóterek, műtárgyak) műszaki állapotát, állapotváltozását,
- a tárolóterek szivárgásának megfigyelésére szolgáló eszközök és berendezések működőképességét,
- a lerakótelep védőtávolságán belül a felszín alatti víz minőségét,
- a lerakótelep területéről elvezetett felszíni víz minőségét,
- a levegőszennyező anyagok emisszióját, immisszióját,
- a lerakótelep környezetében a hatásvizsgálatban kijelölt élő szervezetek állapotát és annak változásait,
- a biztonsági célokat szolgáló melléklétesítmények, vízelvezető és vízkezelő rendszerek működőképességét.

A fenti ellenőrző vizsgálatok elvégzéséhez szükséges megfigyelőrendszer elemeit két csoportba sorolhatjuk. Ezek:

- a) a lerakó üzemelésével, állapotváltozásával kapcsolatos megfigyelőrendszer;
- b) a lerakónak a környezetre gyakorolt hatását figyelő-ellenőrző rendszer.

A megfigyelőrendszer elemeit, a mérés rendjét, a vizsgálandó paramétereket lerakónként egyedileg kell meghatározni, nyilvánvalóan nincs szükség a következőkben bemutatásra kerülő módszerek mindegyikének egy-egy lerakónál való teljes kiépítésére.

#### **9.1. A lerakó üzemelésével, állapotváltozásával kapcsolatos megfigyelőrendszer**

A megfigyelőrendszer ezen elemeinek feladata a lerakó és műtárgyai üzemelésének ellenőrzése, a veszélyeztetett területek ellenőrzése annak érdekében, hogy egy esetlegesen bekövetkező meghibásodás következményei még időben elháríthatók legyenek.

*A megfigyelőrendszer elemei:*

- a szivárgórendszerek hatékonyságát ellenőrző rendszer,
- a lerakó mozgásmegfigyelő rendszere,
- a csurgalékvízgyűjtő tartályok ellenőrző rendszere.

##### **9.1.1. A szivárgórendszerek hatékonyságát ellenőrző rendszer**

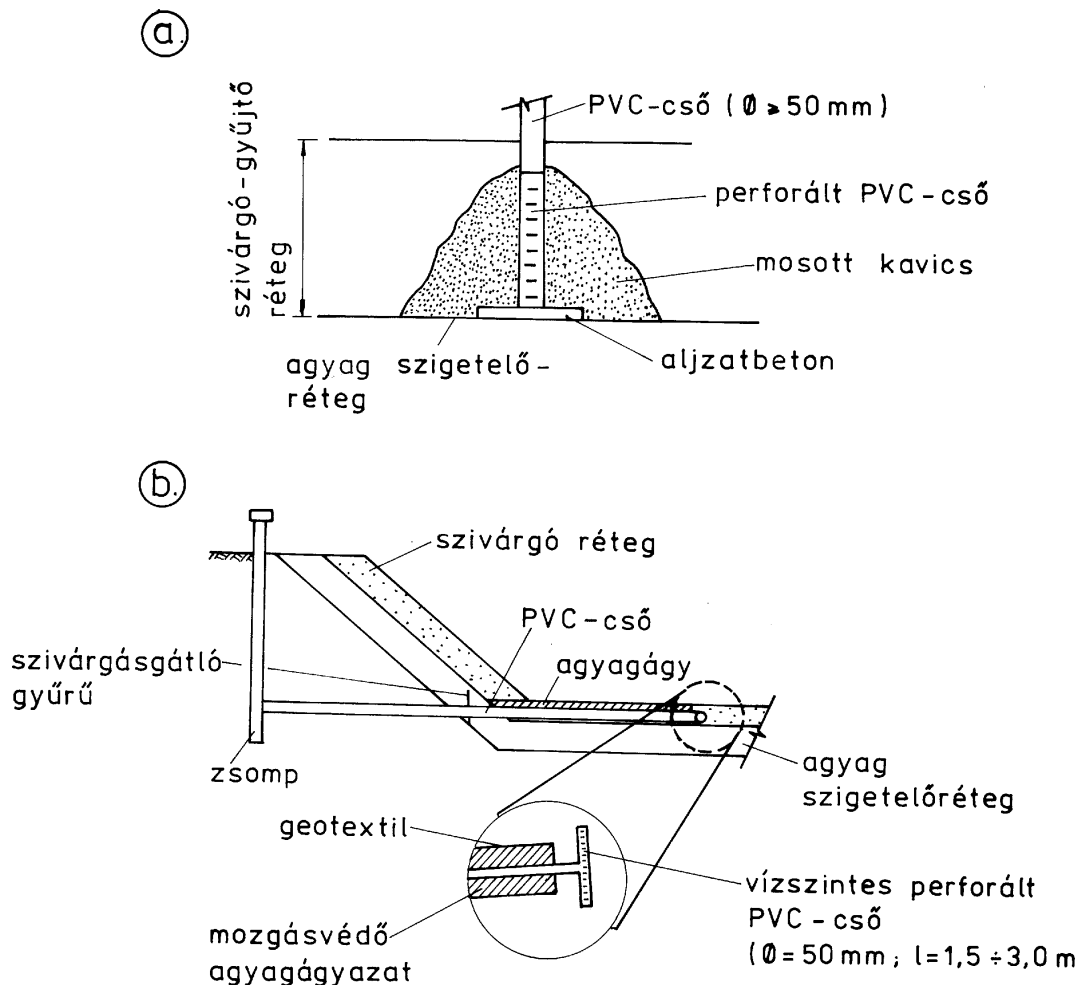
A szivárgórendszerek ellenőrzésénél külön kell választanunk:

- az aljzatszigetelő rendszerhez tartozó szivárgó-gyűjtő rendszer,
- a depónia lezárását biztosító záró szigetelőrendszerhez tartozó szivárgórendszer ellenőrzését.

Mint tudjuk, a szivárgó-gyűjtő rendszer feladata a csurgalékvizek összegyűjtése az aljzatszigetelő rendszerre jutó terhelés csökkentése érdekében. A szivárgó-gyűjtő rendszertől megkívánjuk,

hogy megfelelő méretezés és kialakítás esetén a benne kialakuló nyomómagasság nagysága egy adott maximális értéket (általában  $h_{\max} \leq 30$  cm) ne haladja meg.

A nyomómagasság ellenőrzése történhet megfigyelő kutakkal. Kialakításuk elve a 9.1. ábra szerinti. A hulladéklerakóban elhelyezett megfigyelő kutak előnye az olcsóbb kivitel, de számos hátrányuk is van: időszakosan, a hulladék magasságnak növekedtével toldani kell, nagy a sérülésveszély a hulladék elhelyezés során, ami csökkenthető egy külső védőcső beépítésével. A vízszintes kialakítású nyomómagasságmérő kút drágább, de kevésbé sérülékeny. Elsősorban a felszínen, dombépítéssel kialakított lerakók esetében ajánlott.



9.1. ábra

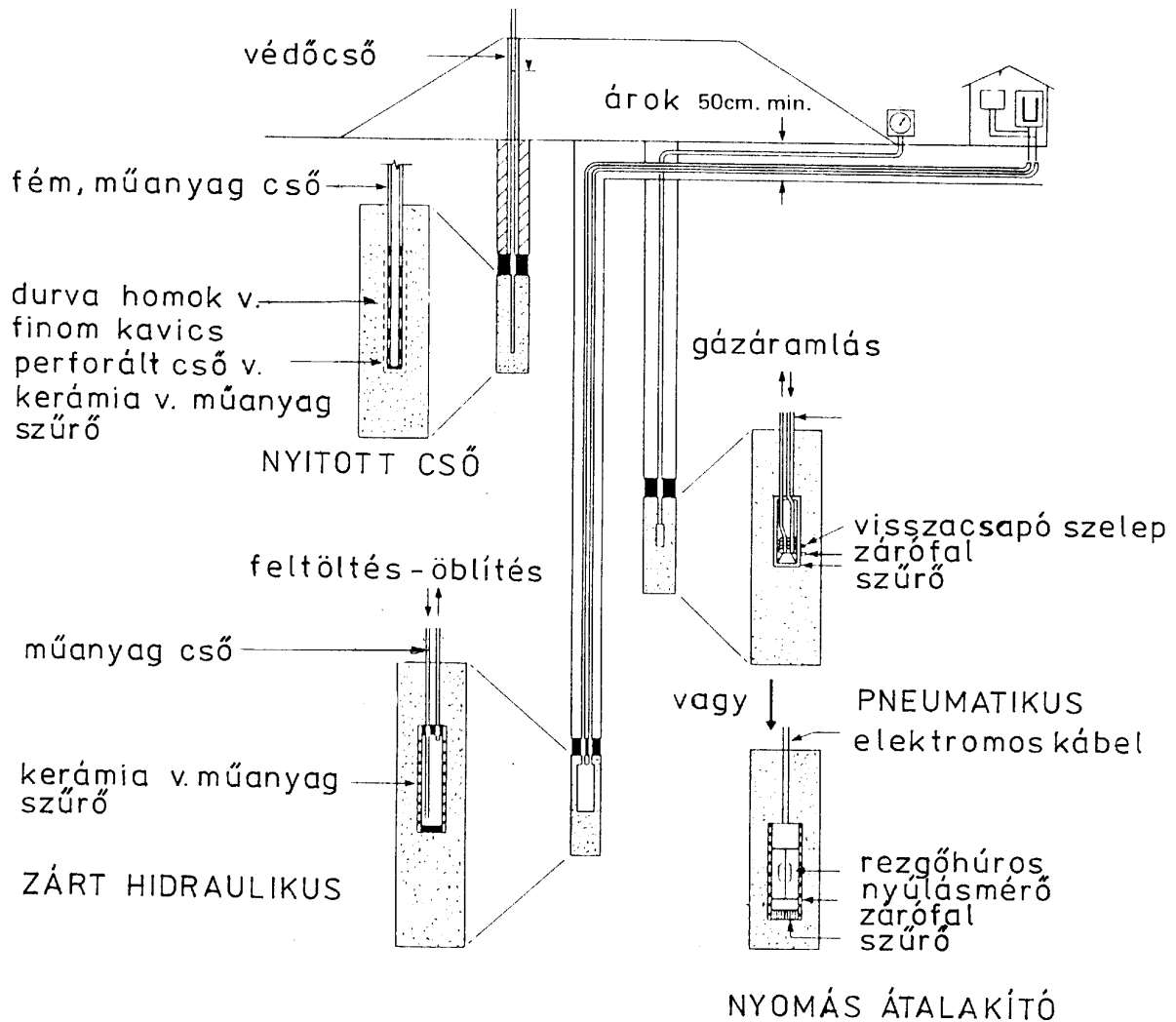
A szivárgó/gyűjtő-rendszerben kialakuló nyomómagasság ellenőrzése:

*a.*: függőleges kutakkal,

*b.*: "vízszintes" megfigyelőkutakkal

(BAGCHI, 1989.)

A nyomómagasság mérésére különösen előnyös a piezométerek alkalmazása (9.2. ábra). Alkalmazásuk a geotechnikai gyakorlatból jól ismert, elősorban a földművekben és környezetükben fellépő pórusvíznyomás mérésére használják. A mérési rendszer lehet mind védőcsőben elhelyezett mechanikus, mind elektronikus automata rendszer.

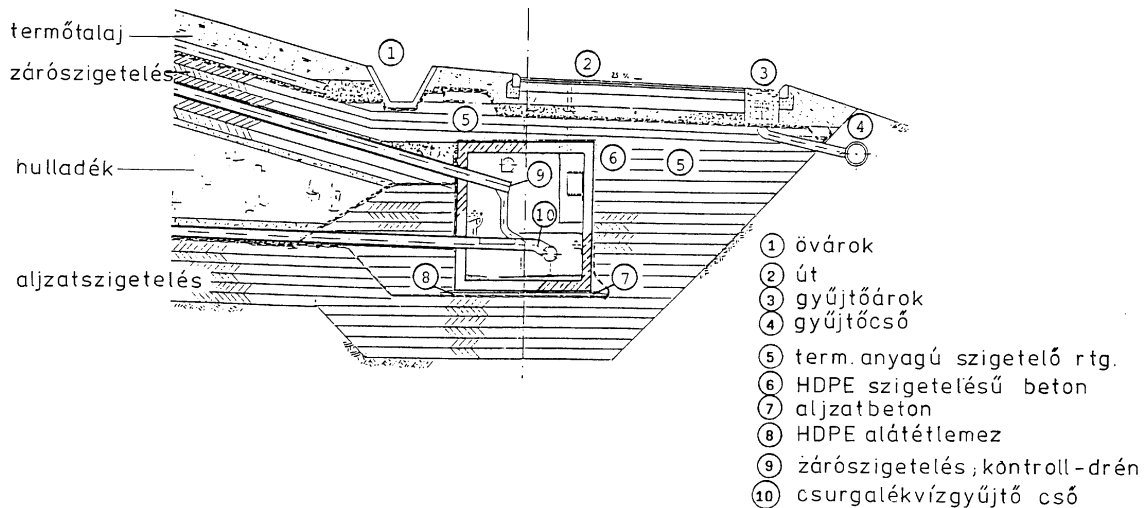


9.2. ábra

A hulladéklerakó alatti víznyomások mérése különböző típusú piezométerekkel (MURRAY, 1990.)

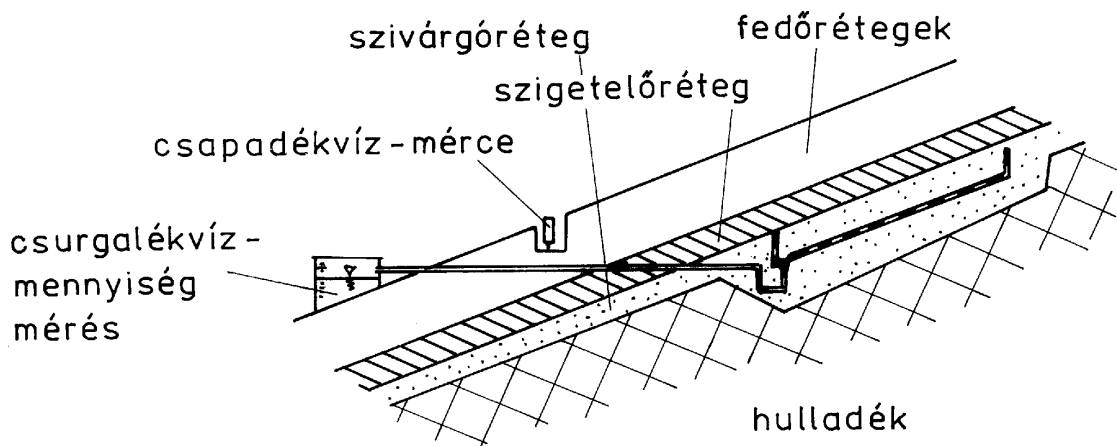
A szivárgó-gyűjtő rendszer hatékonyságára következtethetünk a dréncsövekből kifolyó csurgalékvíz mennyiségének a méréséből is. (9.3. ábra)

A záró szigetelő rendszeren történő átszivárgás ellenőrzése történhet a szigetelőréteg alá beépített kontroll dréncsővel (9.3. ábra), vagy a szigetelőréteg alá beépített liziméterekkel. Utóbbira mutat be példát a 9.4. ábra.



9.3. ábra

A depónia szélén kialakított kontrollvágat a csurgalékvíz mennyiségének mérésére



9.4. ábra

A zárószigetelés vízzáróságának ellenőrzése líziméterrel  
(HÖTZL - WOHNLICH, 1988.)

### 9.1.2. A lerakó mozgásmegfigyelő rendszere

A mozgásmegfigyelő rendszer kiépítése igen fontos, mert az esetlegesen bekövetkező mozgásokkal megsérülhet a szigetelőrendszer (mind az aljzat- mind a fedőszigetelő-rendszer), a csurgalékvízgyűjtő rendszer megkívánt esése (lejtése) megváltozik, s pangó vizes területek alakulnak ki. A mozgásmegfigyelő rendszer elemei:

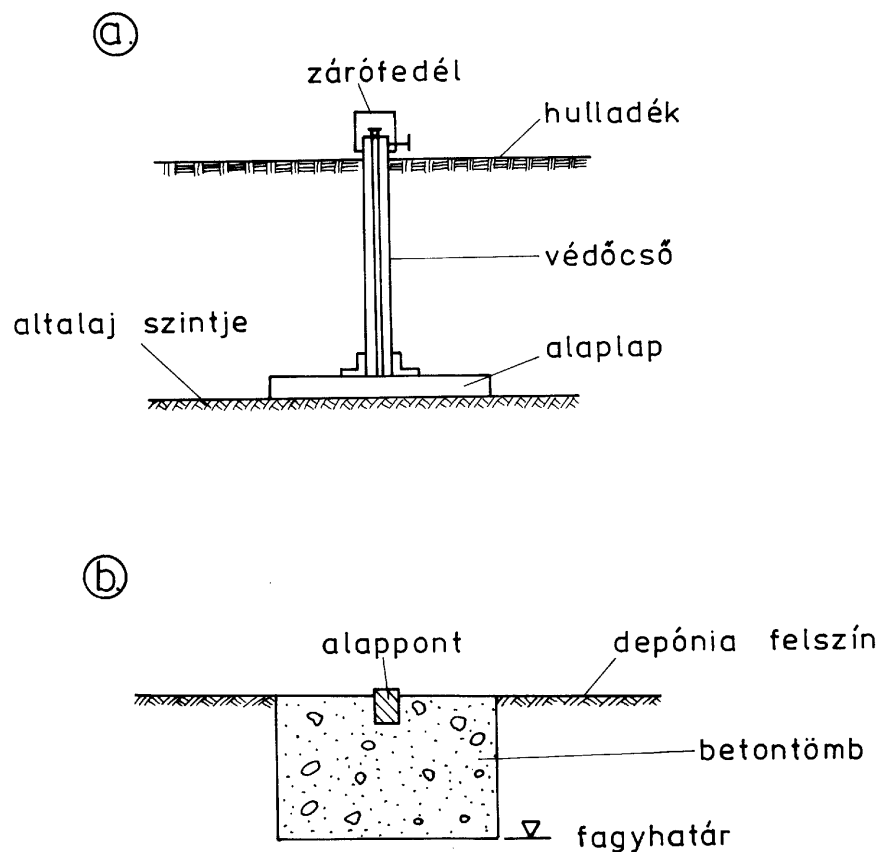
- a depónia aljzatának és felszínének süllyedésmérési rendszere és
- a depóniatestben és a fedőrétegben esetleg bekövetkező mozgások mérő rendszere.

A depóniaaljzat süllyedésének a mérésére az építés során elhelyezett *mozgásmérő alappontok* szolgálnak. Hátránya a módszernek, hogy a hulladék magasságának a növekedtével fokozatos toldást kíván. A fellépő súrlódások hatásának a csökkentésére célszerű a *mérőrudat* védőcsőben elhelyezni (9.5.a ábra)

A depónia felszínének a süllyedését *alapponthálózat* kiépítésével követhetjük nyomon. Az alappont kialakítása a 9.5.b ábra szerinti, a betontömb aljának a fagyhatár alá kell kerülnie. A mérési ponthálózatot célszerű 30x30 m-es hálóban kialakítani (BAGCHI, 1989.).

A depóniatestben kialakuló *felszínmozgások* elsősorban a felszín fölött dombépítéssel kialakított lerakóknál fordulhatnak elő. A fedőrétegnek a műanyag szigetelőlemezen való megcsúszása a rézsűszerűen lezárt depóniaoldalakon jellemző, ha a talaj-szigetelőlemez közötti súrlódási szög kisebb a kialakított rézsűszögnél.

A *fedőréteg stabilitásának* az ellenőrzésére alkalmas a 9.5.b. ábra szerint kialakított *alappontrendszer* (9.6.a ábra). A depóniatestben kialakuló mozgások, csúszások figyelésére leginkább az *inklinométer* ajánlott (9.6.b ábra). A méréshez speciális, az inklinométer vezetésére és síkban tartására szolgáló vájattal ellátott béléscső kell, amit pótolhatunk megfelelő méretű négyszög-zártszelvényvel is (SZABÓ-KOVÁCS, 1991.).

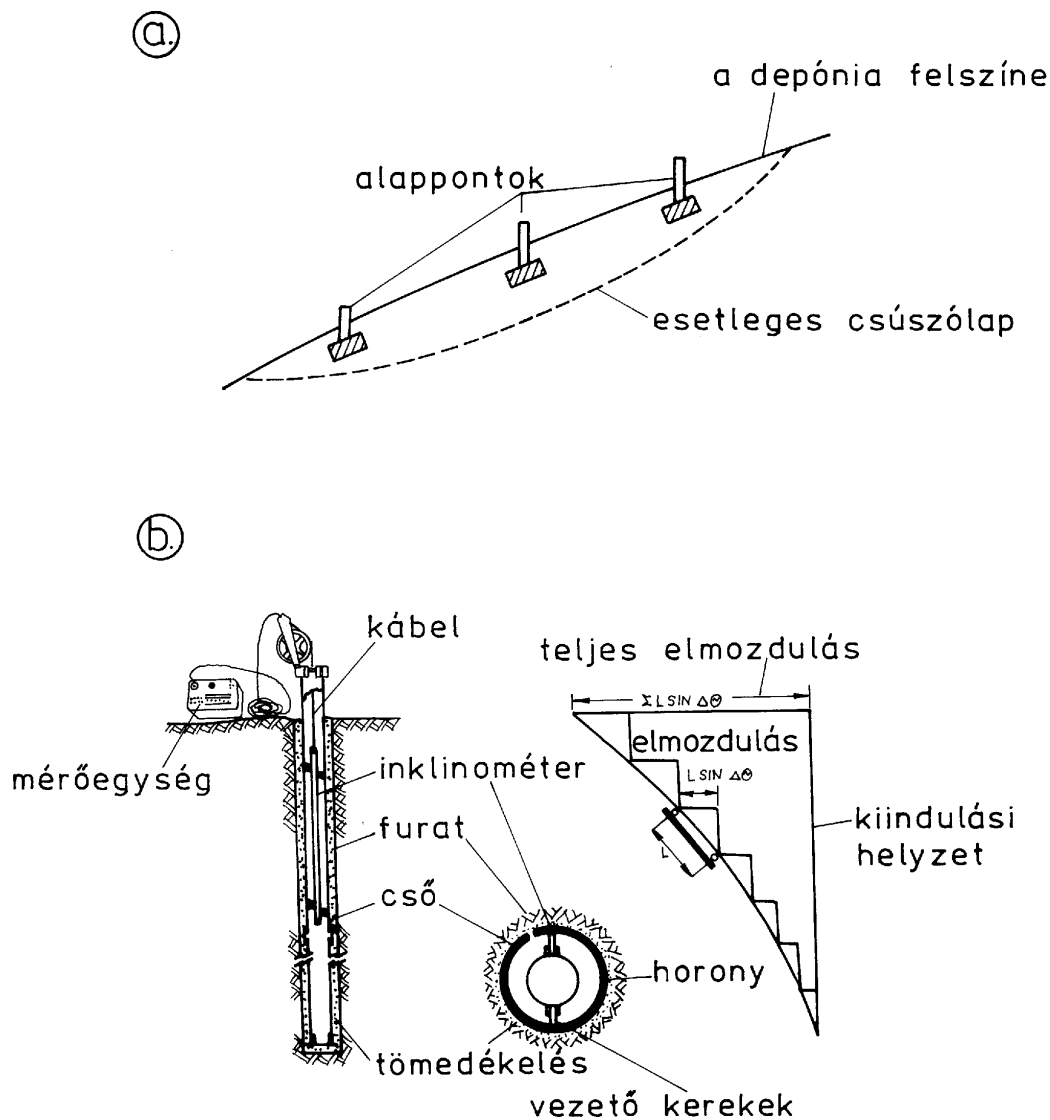


9.5. ábra

A mozgásmegfigyelő-hálózat alappontjainak kialakítása

a.: a depóniaaljzat süllyedésének mérése

b.: felszínmozgást mérő pont



**9.6. ábra**

A depónia állékonyságának ellenőrzése

*a.*: a fedőréteg megcsúszásának ellenőrzése,

*b.*: a depóniatest állékonyságának ellenőrzése inclinométerrel.

### 9.1.3. A csurgalékvízgyűjtő tartályok ellenőrzése

A csurgalékvízgyűjtő aknában, tartályokban elegendő az összegyűlő csurgalékvíz szintjét mérni, ami általában automatikusan történik. Az összegyűlő csurgalékvíz minőségének a folyamatos ellenőrzése elsősorban a tisztítási eljárás számára szolgáltató értékes információkat.



## 9.2. A lerakónak a környezetére gyakorolt hatását figyelő és ellenőrző rendszer

A megfigyelőrendszer ezen elemeinek feladata a lerakóból esetleg kijutó szennyezőanyag lehető legrövidebb időn belüli észlelésének és nyomon követésének a biztosítása, a környező természeti értékek védelme.

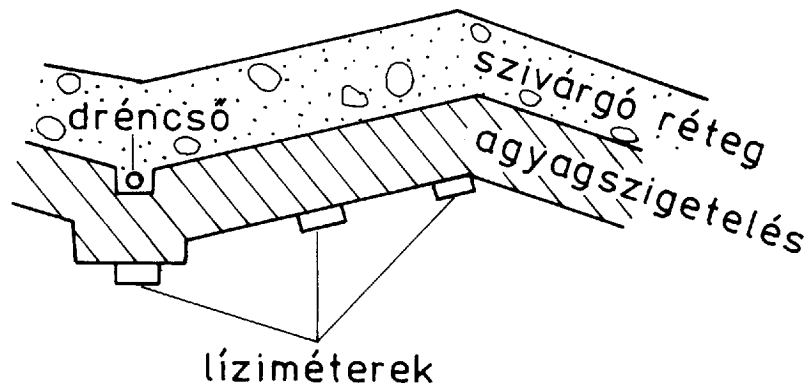
Ennek megfelelően az elemei:

- a lerakóból, technológiai létesítményeiből történő elszivárgást figyelő-ellenőrző rendszer:
  - = a szigetelőrendszer hatékonyságát ellenőrző rendszer,
  - = a talajvízmegfigyelő rendszer,
- a lerakóból kilépő gázok figyelését szolgáló rendszer.

### 9.2.1. Az aljzatszigetelő rendszer hatékonyságának ellenőrzése

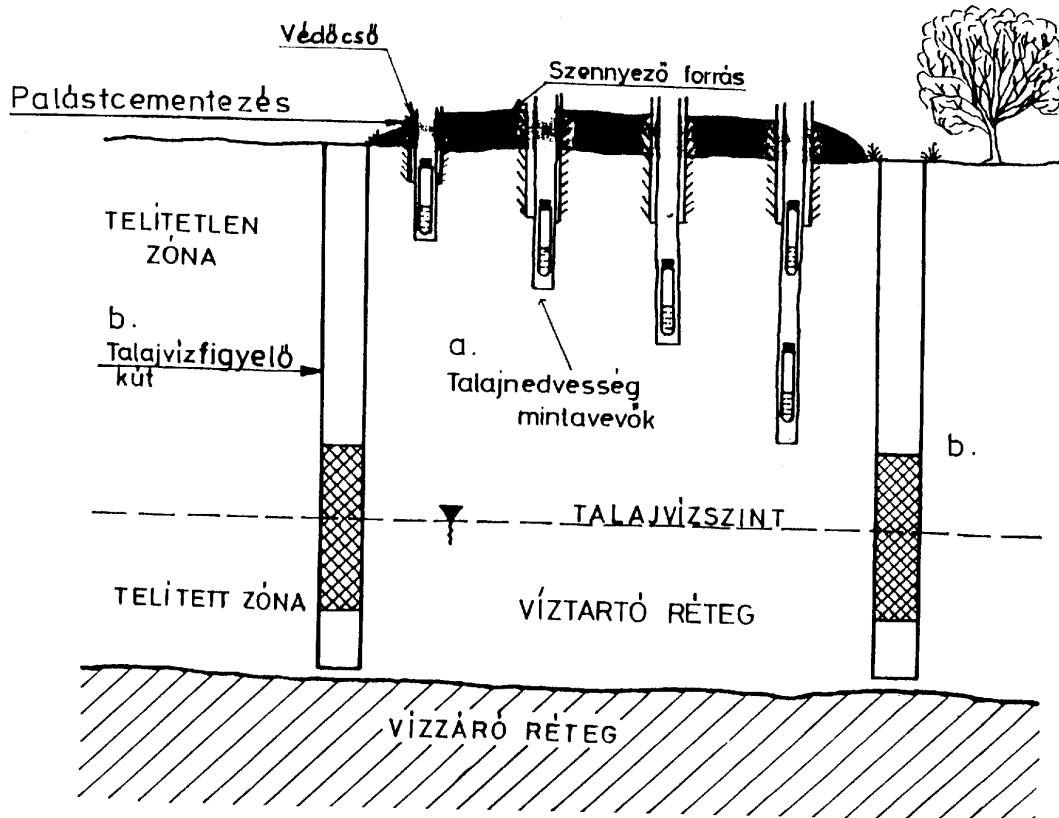
Az aljzatszigetelőrendszeren esetleg átjutó szennyezőanyagok észlelése alapvető fontosságú, mert a kedvezőtlen folyamat legelső fázisában kapunk olyan információt, ami biztosíthatja a megfelelő időben történő beavatkozást. A szigetelőrendszer alatti *telítetlen zónának* meghatározó szerepe van abban, hogy a talajvíz/rétegvíz minőségét fenyegető szennyezés a telítetlen zónán átszivárogva eléri-e, illetve milyen minőségi változás után éri el a talaj,-ill. rétegvizet. Ezért a szivárgás észlelése és a változó vízminőség nyomonkövetése céljából a telítetlen zónában különböző mélységközökben *talajnedvesség mintavevőket* kell elhelyezni (MI-10-450-85). A talajnedvesség mintavevőkből nyert pórusvizek vegyi és bakteriológiai szennyezettségének vizsgálatával kell nyomon követni a szennyezőanyag (függőleges irányú) szivárgása során bekövetkező minőségváltozásokat. A talajnedvesség mintavevők lehetnek *liziméterek* vagy *vákuumtúlnyomásos rendszerű talajnedvesség mintavevők*. Célszerű közvetlenül a *szigetelőrendszer alá is (9.7. ábra)*, majd *különböző mélységbe (9.8. ábra)* telepíteni az észlelő egységeket oly módon, hogy a telítetlen zóna teljes vastagságában ellenőrizhető legyen. A beépítést még a szigetelőrendszer kivitelezése előtt el kell végezni. A vákuumtúlnyomásos rendszerű talajnedvesség mintavevő beépítési vázlatát a **9.9. ábra** szemlélteti. A mintavevőben összegyűlt vizet a szifon elven működő *túlnyomással* kell a felszínre nyomatni. A mintavevő beépítésénél biztosítani kell, hogy a furatba csak a vizsgálni kívánt szakaszon jusson be a talajnedvesség, ezért a beépítésnél a furatban elhelyezett mintavevő alatt és felett jó vízzáró agyagot, vagy bentonitos szigetelőréteget kell elhelyezni. Palástcementeztett védőcső elhelyezésével kell megakadályozni, hogy a mintavevő mellett a szennyeződés a víztartó rétegbe bejusson. A talajnedvesség mintavevő és a furat fala közötti teret homokkal, vagy mosott finomszemű (coulé) kavicsal (átmérő 0,8-1,0 mm) kell kitölteni, elsősorban kötött agyagos talajok esetében (MI-10-450-85). Kétségtelen hátrány a vákuumtúlnyomásos talajnedvesség mintavevőknél a védőcső sérülékenysége, valamint az, hogy nem megfelelő palástcementeztéssel elősegíthetjük a szennyezőanyag lejutását az altalajba.

A szigetelőrendszeren átszivárgó csurgalékvíz mennyiségének a mérése történhet *liziméterekkel* is, azonban azok általában gazdaságosan nem alkalmazhatók a telítetlen zóna különböző mélységben való észlelésére. A kialakítás lehetőségét a **9.10. ábra** szemlélteti BAGCHI (1989.) nyomán. Kialakítását szintén még a depóniaépítés előtt kell elvégezni.



9.7. ábra

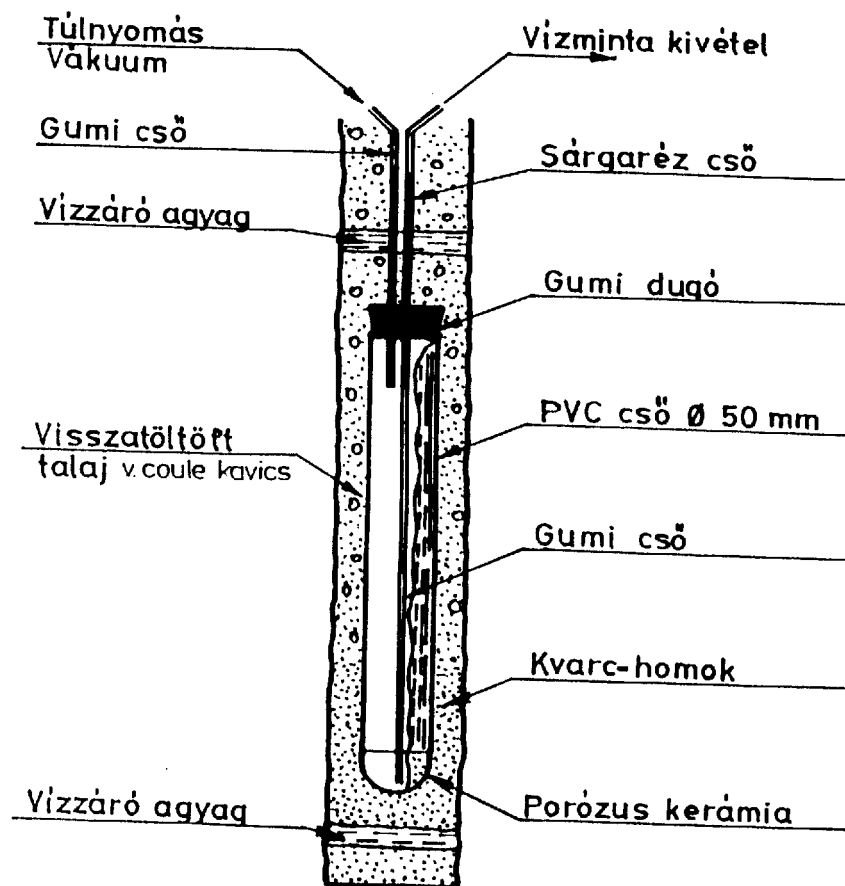
Az aljzatszigetelő-rendszer hatékonyságának ellenőrzése líziméterekkel (elhelyezési vázlat)



a.: a telítetlen zóna ellenőrzése  
b.: talajvíz-megfigyelőkutak

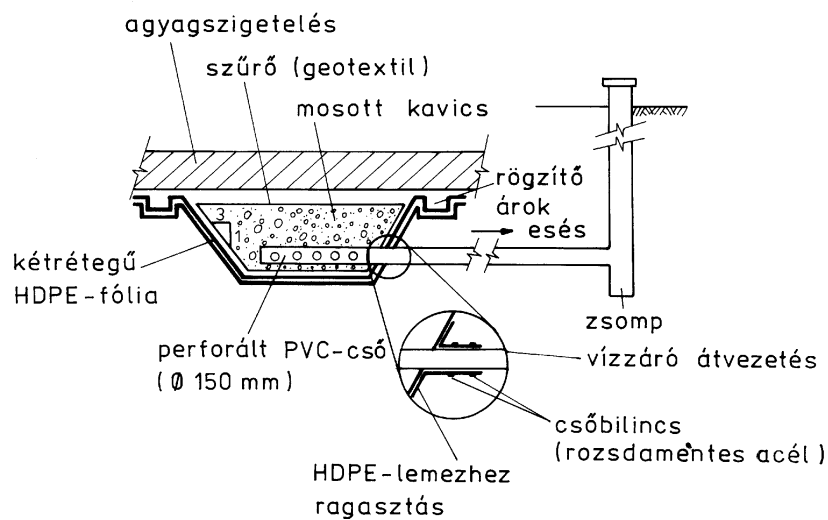
9.8. ábra

A felszín alatti szennyeződés észlelésének rendszere (MI-10-450-85)



9.9. ábra

Vákuumtúlnyomás-rendszerű talajnedvesség-mintavevő beépítési vázlat (MI-10-485-85)



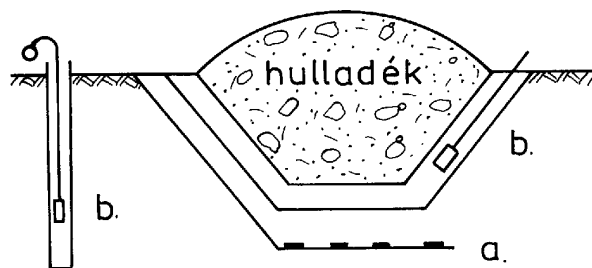
9.10. ábra

Az aljatszigetelő-rendszeren átjutó csurgalékvíz mennyiségének mérése líziméterrel (BAGCHI, 1989.)

Számos kísérlet történt a szigetelési hibák *közvetett (indirekt) úton történő észlelésére (9.11. ábra)*. Az alkalmazott módszerek két csoportba sorolhatók:

- a *nedvességtartalom változásának* mérése a telítetlen zónában,
- a *koncentráció-változás* mérése a telítetlen zónában.

Mindkét módszer a mennyiségi és nem a minőségi változásról (pl. vízminőség) ad információt. Különösen hasznos lehet a módszer a depónia üzemelésének az első éveiben, amikor még a folyamat időben nem állandósult. A permanens folyamat beálltával már kevés értékelhető információt szolgáltatnak. Ugyancsak hasznos lehet alkalmazásuk ott, ahol átszivárgást gyakorlatilag nem engednek meg, mint pl. a többszörös geomembrán-agyag kombinált szigetelő rendszereknél. Rutinszerű alkalmazásukra még nem került sor, de lehetőségként az elkövetkezőkben számításba jöhetnek, különösen a *geofizikai módszerek*.



- a.: beépített érzelők  
b.: figyelőlyukban történő mérés

### 9.11 ábra

A szigetelőréteg hatékonyságának ellenőrzése közvetett módszerrel  
(BAGCHI, 1989.)

#### 9.2.2. A talajvízmegfigyelő rendszer

A víztartó réteg *telített zónájában* lejátszódó folyamatok és változások nyomonkövetésére leginkább a *figyelőkutak* alkalmasak (9.8. ábra). A figyelőkutak *telepítésének a célja* olyan mérési, megfigyelési adatok gyűjtése, amelyeknek feldolgozása alapján figyelemmel lehet kísérni, illetve ellenőrizni lehet a hulladéklerakó által érintett terület (*hatásterület*) *vízforgalmát, vízjárását, az áramlási viszonyokat és a vízminőség alakulását*.

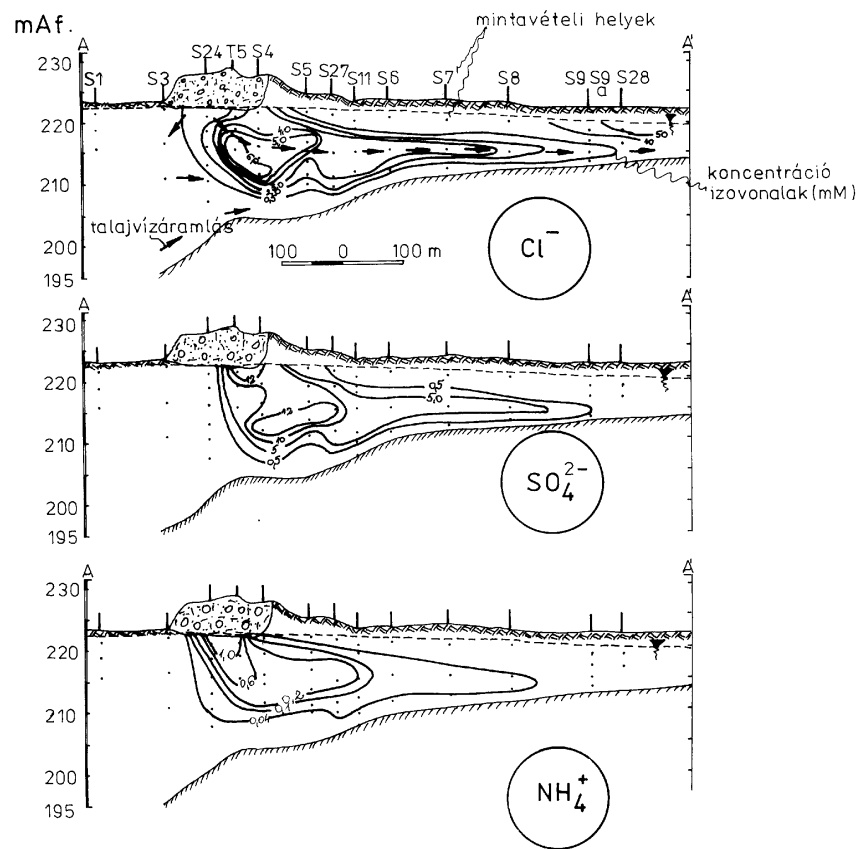
A figyelőkutak telepítését úgy kell tervezni, hogy azok külön-külön és az általuk alkotott vizsgálati, vagy ellenőrző rendszer együttléve a lehető legtöbb és legmegbízhatóbb adatokat szolgáltatassa a fenti cél érdekében (JUHÁSZ, 1990.).

A figyelőkutak *szerkezeti kialakításához* ismerni kell:

- az érzelendő réteg térbeli helyzetét, vastagságát,
- a rétegre jellemző szemeloszlási görbét,
- a rétegben lévő talaj-/rétegvíz ingadozásának mértékét,
- a szennyezésterjedés várható alakulását,
- a szennyezőanyag minőségi (kémiai) jellegét.

A szennyezőanyag terjedésének várható alakulása igen fontos, mert egy térbeli, háromdimenziós folyamatról van szó. A *konvektív áramlás* mellett jelentős szerepe van az egyes elemek *mozgékonyosságának*, a *diffúzió*nak és a közettel való *kölcsönhatásnak*. (A szennyezésterjedést részletesen a 11. fejezet tárgyalja). A megfigyelőkút kialakításánál figyelembe kell venni, hogy egy adott függőleges metszetben a koncentrációeloszlás nem egyenletes (9.12. ábra), és lehetőség szerint a *maximális koncentrációértékeket* kell tudnunk észlelni.

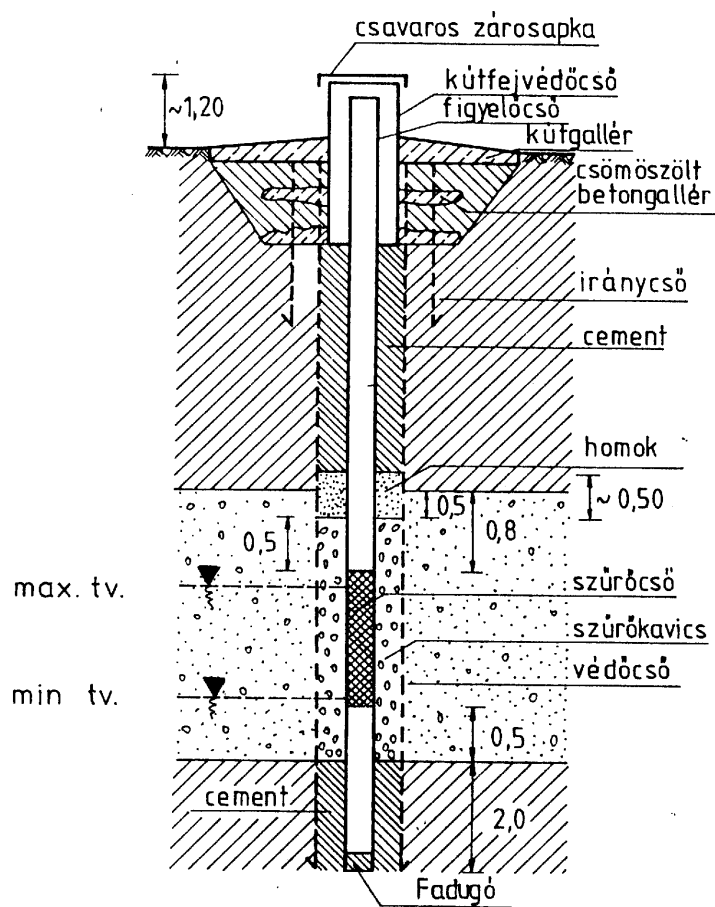
A figyelőkutak *szerkezeti anyagainak* (béléscső, szűrőcső) kiválasztásánál figyelembe kell venni, hogy *nem szabad szerkezeti anyagként beépíteni olyan anyagot, amelyen komponens vizsgálatára a figyelőkutat használni akarják*. (Pl. ha réz vagy cink a vizsgálat tárgya, nem alkalmazható sárgaréz, vagy ha ólmot kell vizsgálni nem alkalmazható PVC, stb.).



9.12. ábra

Szennyezőanyagok koncentrációjának eloszlása egy hulladéklerakó alatt  
(NICHOLSON et al., 1983.)

A *talajvízfigyelő-kút* a vízáadó rétegekben lévő talajvíz megfigyelésére szolgál. Kialakítására, valamint a kútban elvégzendő mérési és vizsgálati módszerekre az MI-10-234/2 ad részletes útmutatást. A kútat egy *csőrakattal* is ki lehet alakítani (9.13. ábra), az iránycső és a védőcső visszahúzásával. A cső melletti szennyezőanyag lejutás az iránycső és a figyelőcső közötti tér tömedékelésével akadályozható meg. A felszínről történő szennyezőanyag lejutás kizárása szempontjából kedvezőbb a 9.14. ábra szerinti, bentmaradó iránycsővel való kialakítás. Ugyancsak az utóbbi kialakítás ajánlott műanyag szűrőcső esetén is.



9.13. ábra

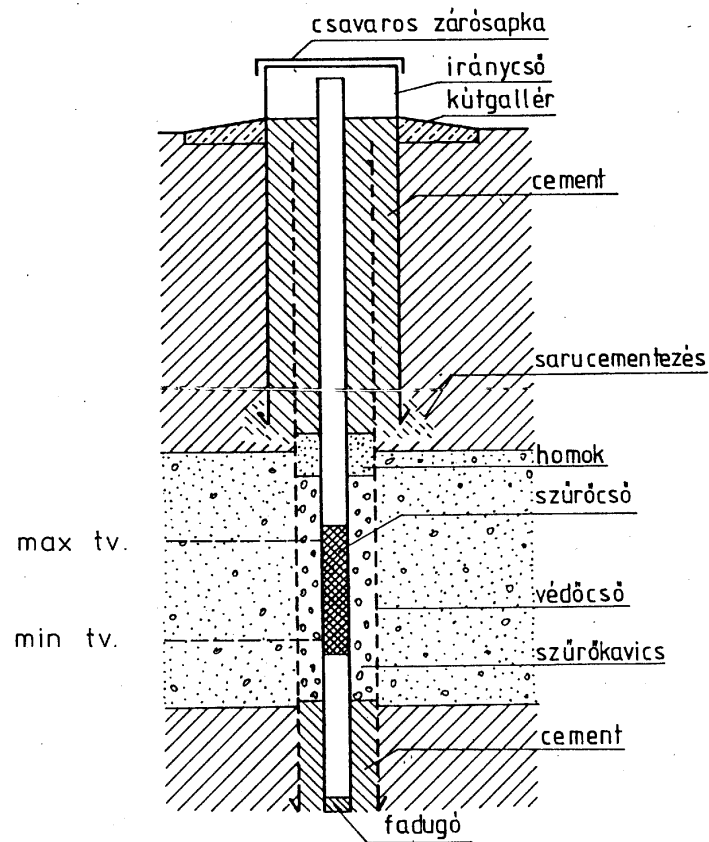
Talajvíz-figyelőkút egy csővel  
(JUHÁSZ, 1990.)

A laza üledékes kőzetben elhelyezett figyelőkút szűrőcsövét hasításokkal, vagy ha nincs hasításra lehetőség, perforálásokkal kell ellátni úgy, hogy a szűrővázon legalább 20% szabad felületet kell hagyni. A hasítás mérete célszerűen 2x200 mm.

A szűrővázra 32-es vagy 40/50-es szitaszövet kerül. Az egyrétegű kavicszemcse méretét a szűrőszabály (lásd a 6.2.2.1.3. pontban) szerint kell megválasztani, figyelembe véve a megfigyelésbe vont réteg szemeseeloszlását. Ha a kútból sohasem szivattyúznak vizet, a kavicsolás lehet durvább is a szűrőszabály által kijelölnél (JUHÁSZ, 1990).

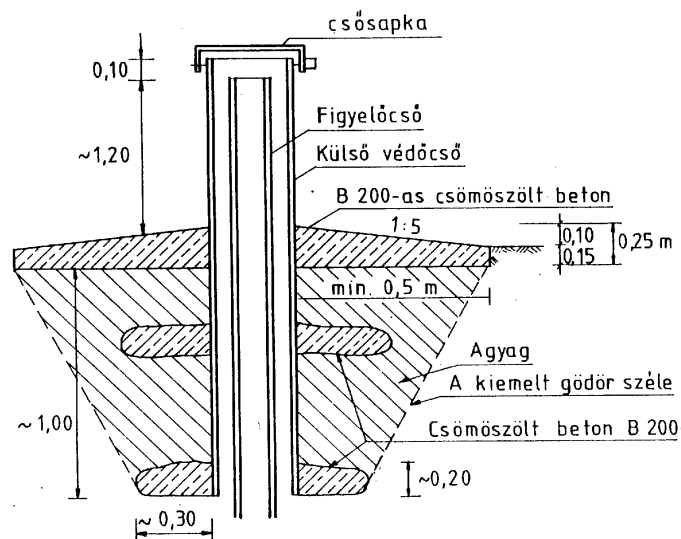
Kavicsos homok vagy annál durvább réteg figyelése esetén a hasított csőből készült szűrővázat szita szűrőszervezet nélkül is alkalmazhatjuk. Hasadozott kőzet talajvizét figyelő kút kialakításánál az iránycső alkalmazása kötelező, sarucementezéssel. A figyelőcső szűrőzésénél a hasított szűrőváz és 2-5 mm átmérőjű szűrőkavics szórás alkalmazása megfelelő.

A talajvízészlelő kút kútfejét úgy kell kialakítani, hogy az észlelés, a mintavétel, az időszakos vizsgálat és az időszakos fenntartási és felújítási munka zavartalan lehessen. Ugyanakkor a kútfej megakadályozza a kútnak illetéktelen által történő rongálását. Az egycsőes talajvízmegfigyelő kút kútfejkiképzését mutatja be a 9.15. ábra.



9.14. ábra

Talajvíz-megfigyelőkút bentmaradó iránycsővel  
(JUHÁSZ, 1990.)

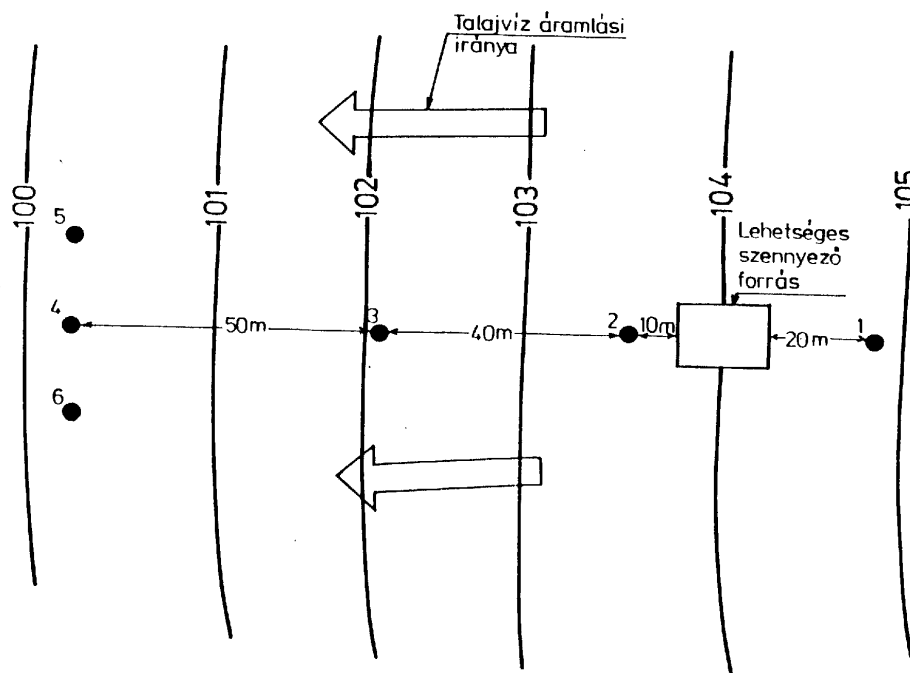


9.15. ábra

Egyszerű talajvíz-figyelőkút fejének kialakítása egycsöves kútnál  
(JUHÁSZ, 1990.)

A talajvízmegfigyelő kutakat a szennyezőforrástól távolodva ütemezve kell telepíteni, úgy hogy a felszín alatti esetleges szennyezés lehatárolható legyen. A figyelőkutak számát és telepítési helyét a helyi körülmények határozzák meg. Ezek a földtani felépítés, a vízföldtani viszonyok (a talaj/rétegvíz tartók térbeli helyzete, vízszintingadozás, áramlási irány), a szennyezésterjedés várható alakulása.

A kúttávolságok ajánlott méreteit (MI-10-450-85) a **9.16. ábra** mutatja be. Mindenképpen szükséges, hogy - amennyiben talajvízáramlás van és az ismert - *legalább egy talajvízfigyelő kút* kerüljön a lerakó talajvízáramlással ellentétes oldalára. Ebből a kútból származó vízminták vízminőségi adatai jellemzik a nem szennyezett terület vízminőségét.



**9.16. ábra**

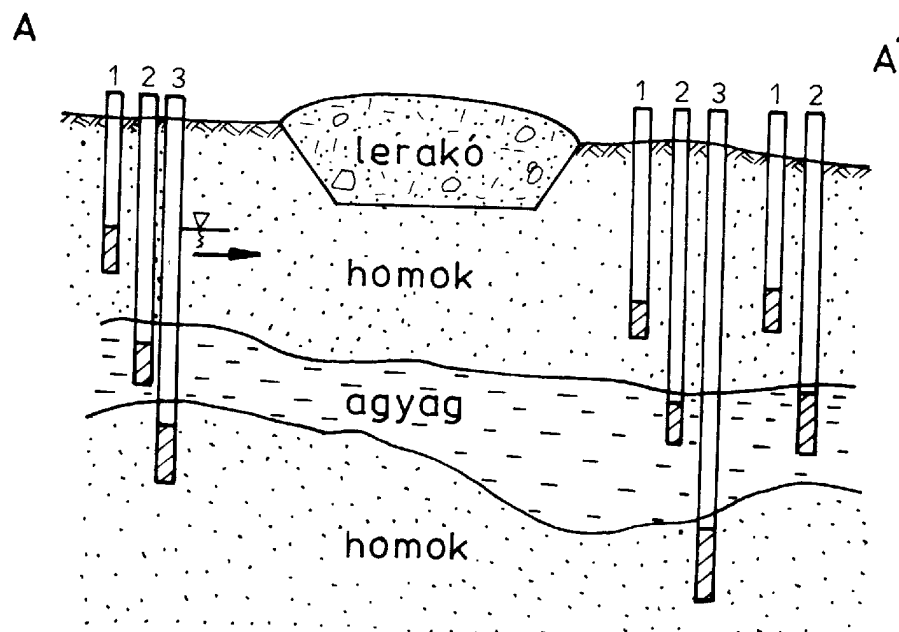
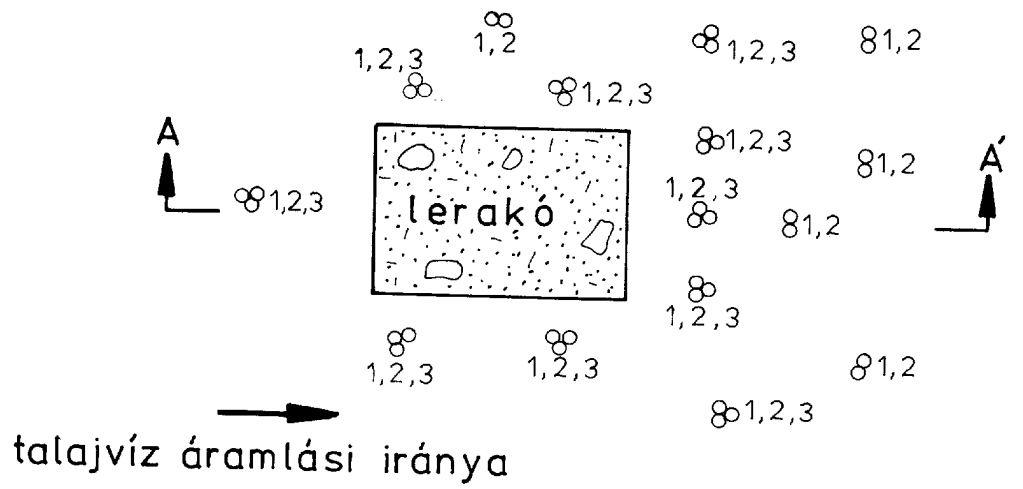
Talajvíz-figyelőkutak elrendezési vázlata  
(MI-10-45-85)

A talajvízáramlás irányában legalább 5 db megfigyelőkutat kell telepíteni, amiből 3 db-ot egy sorban kell elhelyezni: a lerakó szélétől számított 10; 50; és 100 m távolságban. Egy-egy talajvízmegfigyelő kutat pedig a pontszerű szennyezőforrás szélétől 100 m-re kell elhelyezni a talajvíz áramlási irányával bezárt 10-15°-os egyenesek mentén. A lerakó méretének növekedtével szükséges lehet *több kútsor* telepítése is.

Ha a lehetséges szennyeződés a felszín alatt minden irányban terjedhet, a lerakó köré 90°-os szögben, sugárirányban kell elhelyezni 10; 50 és 100 m-re a 3-3 db figyelőkútból álló kútsort. Szennyeződés észlelése esetén a kúthálózat 45°-ban telepített kútsorokkal sűrűsíthető.

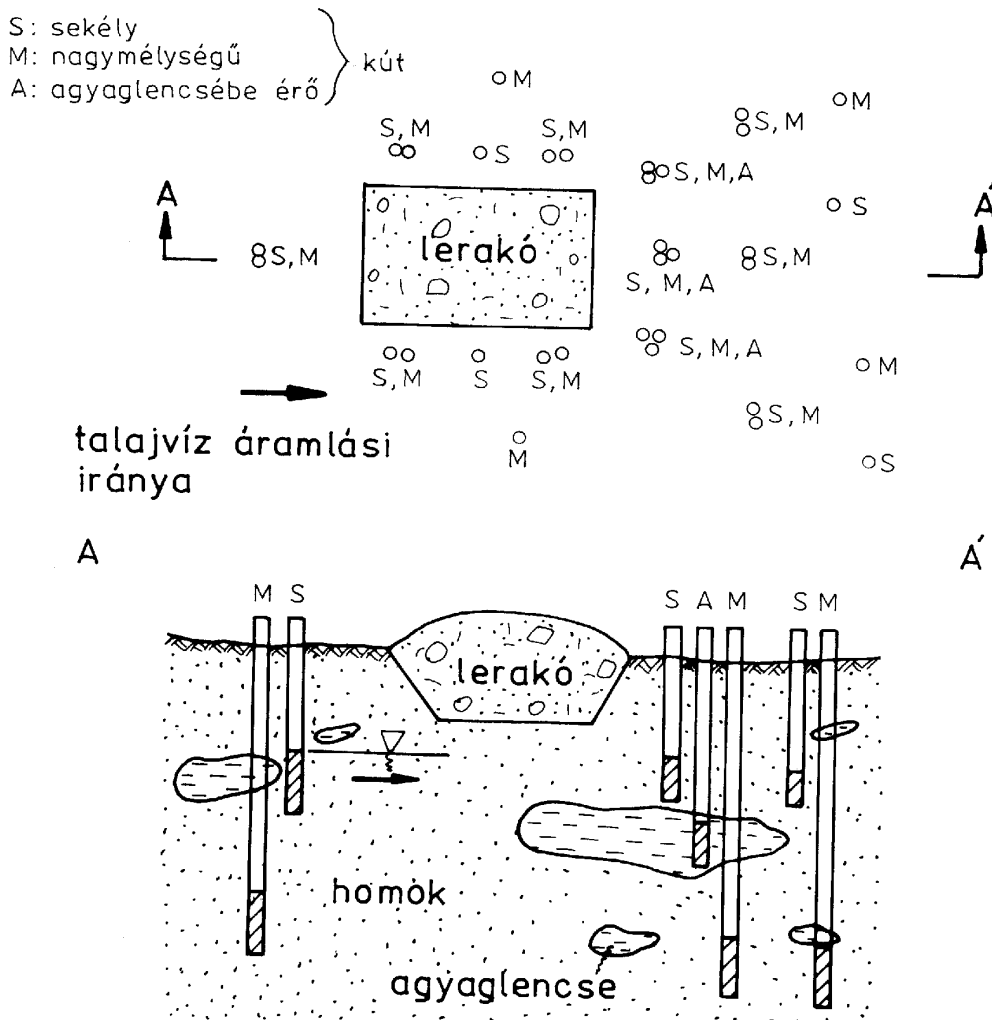
Természetesen a földtani felépítés és a figyelésbe bevont rétegek száma a merev előírásokat módosíthatja a fenti irányszámok valójában a *szükséges minimális értéket jelentik*. A **9.17-9.18. ábrák** az észlelőkutak területi és mélységbeli telepítésére mutatnak be példát rétegzett, illetve lencsés kifejlődésű altalaj esetén.





9.17. ábra

Példa a talajvíz-megfigyelőkutak kialakítására  
(rétegzett altalaj esetén)  
(BAGCHI, 1989.)

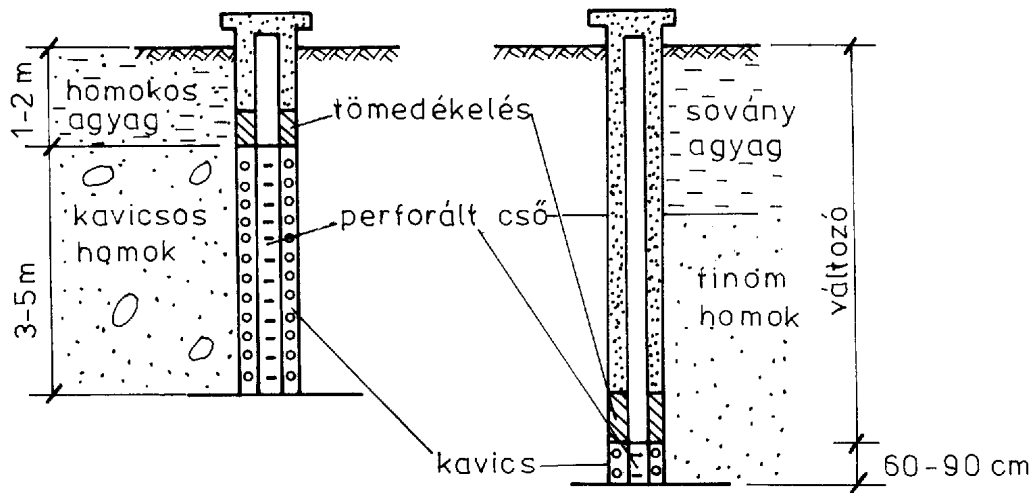


**9.18. ábra**  
 Példa a talajvíz-megfigyelőkutak kialakítására  
 (lencsés közbetelepülésű altalaj esetén)  
 (BAGCHI, 1989.)

**9.2.3. A gáz-monitoring rendszer**

A lerakóból különböző, az emberi szervezetre káros gázok léphetnek ki mind a talajba, mind a levegőbe. Megfelelően kialakított gázdrének esetén a talajba való kilépés valószínűsége kicsi, de a telepen dolgozók egészségvédelme érdekében észlelése célszerű.

A felszín alatti gázmegfigyelő kutak kialakítása hasonló a talajvízmegfigyelő kutakéhoz, telepítésük célszerűen a lerakó közelében történik. A gázmigráció elsősorban a szemcsés talajokban, repedezett kőzetekben valószínű. A kutak telepítésénél először meg kell vizsgálni a lehetséges gázkilépési helyeket, és utána dönteni telepítési helyükről. A 9.19. ábra a talajba jutó gáz észlelésére alkalmas kutak kialakítását szemlélteti BAGCHI (1989.) nyomán. Az észlelés általában a metánkoncentráció meghatározására korlátozódik, ekkor figyelembe kell venni, hogy a metán és levegő keveréke 5-15 térf.% metánkoncentráció esetén robbanásveszélyes.



nagyobb mélységű kút  
( t > 5 m )

**9.19. ábra**

A talajgáz-figyelőkutak kialakításának vázlata  
(BAGCHI, 1989.)

Hazánkban a hulladékelhelyezéssel kapcsolatos levegőtisztaságvédelmi követelmények még nincsenek kidolgozva, nem tisztázottak a telepen megengedhető emisszió- és immisszióértékek. A jelenlegi immissziószabályozás általános szinten foglalkozik a káros légszennyezés megelőzésével és megszüntetésével. Az immissziónormák azt a legmagasabb légszennyezőanyag-koncentrációt adják meg, amit a környezeti levegő szennyezettsége nem haladhat meg (ÁRVAY, 1985.). A immissziónormák a levegőtisztaság-védelmi terület védettségi kategóriái szerint változnak. Az immissziónormákat a jelenleg érvényes jogszabály 31 anyagra, három területi védettségi kategóriára adja meg, amit közvetlenül a lerakótelepre alkalmazni nem lehet, viszont a védőtávolságon kívül a rendeletben előírt normáknak teljesülniük kell. Amerikai ajánlások a **9.1. táblázat** szerinti határértékeket javasolják a munkahelyeken betartani, 40 óra/hét munkaidő esetén (a fentiekben említett levegőtisztaságvédelmi immissziónormák természetesen ezeknél a határértékeknél lényegesen szigorúbbak).

**9.1. táblázat**

| <i>Néhány levegőszennyező-anyag megengedhető határértéke 40 óra/hét munkaidő esetén<sup>1</sup></i> |                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Szennyezőanyag</b>                                                                               | <b>Határértékek</b>                           |
| Szén-monoxid                                                                                        | 50 ppm                                        |
| Azbeszt                                                                                             | 0,2-2 rost/cm <sup>3</sup> (típustól függően) |
| Benzol                                                                                              | 10 ppm                                        |
| Szénpor                                                                                             | 2 mg/m <sup>3</sup>                           |
| Pamutszál                                                                                           | 0,2 mg/m <sup>3</sup>                         |
| Por                                                                                                 | 4 mg/m <sup>3</sup>                           |
| Hidrogén szulfid                                                                                    | 10 ppm                                        |
| Fenol                                                                                               | 5 ppm                                         |
| Vinil-klorid                                                                                        | 5 ppm                                         |

<sup>1</sup>: Forrás: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (1987) in BAGCHI (1989.), p. 224.

A lerakótelepen célszerű egy állandó mérőállomás telepítése. A mintavétel történhet passzív és aktív módszerrel. A passzív mintavételi eljárások kevésbé ajánlottak (gyűjtési idő 7-30 nap), bár kétségtelenül olcsók. Az aktív mintavételi módszerek (membránpumpa, Aeromat, Emimat) kedvezőbbek.

### 9.3. A megfigyelések gyakorisága

A megfigyelések rendszerére ma még nincs kialakult metodika, mindössze néhány ajánlás áll rendelkezésre német (BOTHMANN, 1986, 1987.) és amerikai (BAGCHI, 1989.) tapasztalatok alapján, amit a **9.2. táblázat** foglal össze. A hazai gyakorlatban a megfigyelés kötelező módját és gyakoriságát a hatósági engedélyben rögzítik.

9.2. táblázat

| <i>A megfigyelések gyakoriságának ajánlott értékei</i>                                                                                     |                                                             |                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Paraméterek                                                                                                                                | Mérési gyakoriság                                           |                                                         |
|                                                                                                                                            | BOTHMANN                                                    | BAGCHI                                                  |
| 1. <i>Vízháztartás</i><br>- csapadékvíz<br>- párolgás<br>- csurgalékvízmenyiség<br>- hőmérséklet                                           | naponta<br>naponta<br>naponta, ill. folyamatosan<br>naponta | naponta                                                 |
| 2. <i>Depónián végzett mérések</i><br>- süllyedések<br>- állékonyság-elmozdulás                                                            | negyedévente                                                | negyed-félévente<br>negyed-félévente                    |
| 3. <i>Vízminőség</i><br>- csurgalékvíz<br>= részleges elemzés<br>= teljes elemzés<br>- talajvíz<br>= részleges elemzés<br>= teljes elemzés | havonta<br>negyedévente<br>negyedévente<br>félévente        | hetente-havonta<br>havonta                              |
| 4. <i>Gázelemzés</i><br>- depóniagáz összetétel<br>= talajban<br>= levegőben                                                               | havonta<br>negyed-félévente<br>negyed-félévente             | naponta kétszer<br>havonta-negyedévente                 |
| 5. <i>Szigetelőrendszer hatékonysága</i><br>- csurgalékvíz nyomómagasság<br>- átszivárgás (telítetlen zóna)                                |                                                             | havonta az első 3-4 évben<br>15 naponta az első 2 évben |
| 6. <i>Talajvízszint</i><br>- megfigyelőkutak                                                                                               |                                                             | általában negyedévente                                  |

#### **9.4. Irodalomjegyzék**

*ÁRVAI J. (1985):*

Levegőtisztaság védelem  
Mérnöki Kézikönyv (szerk.:*PALOTÁS L.*) pp. 909-925  
Műszaki Könyvkiadó

*BAGCHI, A. (1989):*

Design, construction and monitoring of sanitary landfill  
John Wiley and Sons, p. 285.

*BOTHMANN, P. (1987):*

Kontrollen an Deponien - Vorschlag für ein erforderliches Überwachungsprogramm  
Zeitgemäße Deponietechnik, Band 24. pp. 57-70.  
Erich Schmidt Verlag

*CODUTO, D.P. - HUITRIC, R. (1990):*

Monitoring landfill movements using precise instruments  
Geotechnics of Waste Fills - Theory and Practice, (ed.: *LANDVA, A.-KNOWLES, D.*),  
ASTM-STP 1070, pp. 358-369.

*COLANGELO, R.V. - CANNISTRA, R.B. - MOREHOUSE, J.T. (1986):*

The effects of water quality data due to annular space material and monitoring well  
specifications  
Ninth Annual Madison Waste Conference, Sept. 9-10. 1986.  
University of Wisconsin-Madison, pp. 100-120.

*COLLINS, H.-SPILLMAN, P. (1982):*

Lysimeters for simulating sanitary landfills  
Journal of the Environmental Engineering Division, Vol. 108. pp. 852-863.

*DODT, M.E.-SWEATMAN, M.B. (1987):*

Field measurements of landfill surface settlements  
Geotechnical Practice of Waste Disposal '87. Geotechnical Special Publication, No.13.  
ASCE, pp. 407-417.

*EVERETT, L.G. (1983):*

Groundwater Monitoring  
General Electric Company

*HÖTZL, H. - WOHNLICH, S. (1988):*

Sickerwasserneubildung bei verschiedenen Abdecksystemen an Deponien  
Zeitgemäße Deponietechnik II. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 29.  
pp. 99-115.  
Erich Schmidt Verlag

*JESSBERGER, H.L. (1987-1994):*

Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und Altlasten" der  
Deutschen Gesellschaft für Erd-und Grundbau e.V.

Bautechnik, 1987. H.9. pp. 289-303.

Bautechnik, 1988. H.9. pp. 289-305.

Bautechnik, 1989. H.9. pp. 289-309.

Bautechnik, 1990. H.9. pp. 289-299.

Bautechnik, 1991. H.9. pp. 294-315.

Bautechnik, 1992. H.9. pp. 474-496.

Bautechnik, 1993. H.9. pp. 504-517.

Bautechnik, 1994. H.9. pp. 527-552.

*JUHÁSZ J. (1990):*

Víz kutatás, vízbeszerzés, vízgazdálkodás I. kötet.

Tankönyvkiadó Bp., Egyetemi jegyzet.

*MI-10-450-85:*

Pontszerű szennyezőforrások talajvízre gyakorolt hatásának ellenőrzése

OVH Műszaki irányelvek

*MURRAY, R. T. (1989):*

Rapporteur's paper. Geotechnical instrumentation in practice. Purpose, performance and interpretation

Proc. of the Conf. Geotechnical Instrumentation in Civil Engineering Projects

Thomas Telford, London, p. 838.

*MÜLLER, L.-HEEMEIER, R.-LAHL, U. (1990):*

Neue Deponiekonzepte: Das Beispiel Verbund-Deponie Bielefeld-Herford

Zeitgemäße Deponietechnik IV. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 38.

pp. 65-92.

Erich Schmidt Verlag

*NICHOLSON, R.V. - CHERRY, J.A. - REARDON, E.J. (1983):*

Migration of contaminants in groundwater at a landfill: case study

Hydrology, 63. pp. 131-176.

*NIELSEN, D.M. (1991):*

Practical Handbook of Ground-Water Monitoring


Lewis Publishers

*SZABÓ I. - KOVÁCS B. (1991):*

Komplex megfigyelőhálózat kialakítása a miskolci Avas dombon

VI. Tudományos ülés, Győr, 1991. szept. 9-11. Építési szekció, pp. 309-321.



| <b>KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 2483 Gárdony, Bóné Kálmán u. 44.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                               |
| <b>Postacím:</b> 2483 Gárdony, Pf.: 15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Fax:</b> (06-22) 355-253                                   |
| <b>Tel.:</b> (06-22) 355-065, 355-253                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>E-mail:</b> koztegy@mail.datanet.hu                        |
| <b>Mobil:</b> (06-20) 413-987                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Egyesülés vezető:</b> Nagy György igazgató                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                               |
| <p>A <b>Köztisztasági Egyesülés</b> 1972-óta szervezi, koordinálja a hazai települési szilárd hulladékok gyűjtésével, szállításával és ártalmatlanításával kapcsolatos feladatokat, képviseli tagjait. Évente megrendezésre kerülő tudományos tanácskozásain, nemzetközivé szélesedett konferenciával egybekötött kiállításain, szakmai rendezvényein, továbbképzésein, havonta megjelenő saját újságján keresztül, a nemzetközi Hulladékgyűjtési Szövetség (ISWA) tagjaként, a legszélesebb jogi, gazdasági és szakmai információval áll rendelkezésre.</p> |                                                               |
| <b>Köztisztasági Egyesülés tagszervezetei:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                               |
| <b>Szolgáltató szervezetek:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                               |
| Agárd                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Városgazdálkodási Kft.                                        |
| Ajka                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | AVAR AJKA Városgazdálkodási Kft.                              |
| Baja                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Bajai Kommunális és Szolgáltató Kft.                          |
| Balassagyarmat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Balassagyarmati Városüzemeltetési Kft.                        |
| Balatonalmádi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Almádi-Kommunális Kft.                                        |
| Balatonfüred                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | PROBIO Balatonfüredi Településüzemeltetési Rt.                |
| Bátonyterenye                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Bátonyterenye Ingatlankezelő és Kommunális Szolgáltató Kft.   |
| Békéscsaba                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Békéscsabai Városüzemeltetési Kft.                            |
| Bicske                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Rumpold-Bicske Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.               |
| Bonyhád                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | BONYKOM Bonyhádi Közülemi Kft.                                |
| Budaörs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Budaörsi Településgazdálkodási Kft.                           |
| Budapest                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Fővárosi Közterület-fenntartó Rt.                             |
| Cegléd                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Városgazda Rt.                                                |
| Debrecen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | A.K.S. Debrecen Városgazdálkodási Kft.                        |
| Dunaújváros                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Dunaújvárosi Városgazdálkodási Rt.                            |
| Eger                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Városgondozás Kft., Eger                                      |
| Esztergom                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | RUMPOLD-Esztergom Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.            |
| Gödöllő                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Városüzemeltető és Szolgáltató Intézmény                      |
| Gyöngyös                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Városgondozási Rt.                                            |
| Győr                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Győri Kommunális Szolgáltató Kft.                             |
| Gyula                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Gyulai Közülemi Kft.                                          |
| Hajdúböszörmény                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Hajdúböszörményi Városgazdálkodási Kft.                       |
| Hajdúszoboszló                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Hajdúszoboszlói Városgazdálkodási Rt.                         |
| Hatvan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | PASIT Szolgáltató, Építő és Kereskedelmi Kft.                 |
| Hódmezővásárhely                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | A.S.A. Hódmezővásárhelyi Köztisztasági Kft.                   |
| Jászberény                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | BERÉNYKOM Kommunális Szolgáltató Kft.                         |
| Kaposvár                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Kaposvári Városgazdálkodási Rt.                               |
| Kazincbarcika                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ÉHG. Északmagyarországi Hulladékgyűjtési és Szolgáltató Kft.  |
| Kecskemét                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Városgazdasági Kft.                                           |
| Keszthely                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Városüzemeltető Kft.                                          |
| Kiskunfélegyháza                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Városfenntartó és Szolgáltató Költségvetési Szervezet         |
| Kisújszállás                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Városgazdálkodási Vállalat                                    |
| Kőszeg                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Kőszegi Városgondnokság                                       |
| Letenye                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Építőipari Kereskedelmi Közszolgáltató Önkormányzati Vállalat |
| Makó                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Makó Város Polgármesteri Hivatal                              |
| Marcali                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | RIMPOLD-Marcali Kft.                                          |
| Mezőkövesd                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Mezőkövesdi Városgazdálkodási Rt.                             |
| Miskolc                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | CIRKONT Hulladékgyűjtési és Szolgáltató Kft.                  |
| Miskolc                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | REM-Miskolc Hulladékgyűjtési és Környezetvédelmi Rt.          |
| Mohács                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Mohácsi Városgazdálkodási és Vagyonkezelő Kft.                |
| Mosonmagyaróvár                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | REKULTIV Környezetvédelmi és Hulladékhasznosító Kft.          |
| Nagykanizsa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Saubermacher-Ryno Hulladékgyűjtő Kft.                         |
| Nagykőrös                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Kőrösi Vagyonkezelő Rt.                                       |



|                                                 |                                                                     |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Nagymaros                                       | Maros Építőipari és Kommunális Kft.                                 |
| Nyergesújfalú                                   | Dunamenti Szolgáltató Kft.                                          |
| Nyíregyháza                                     | Városüzemeltetési Kht.                                              |
| Orosháza                                        | Orosházi Városgazdálkodási Kft.                                     |
| Oroszlány                                       | OTTO Oroszlány Környezetvédelmi és Szolgáltató Rt.                  |
| Ózd                                             | Ózdi KOMSZOLG Városüzemeltetési és Kommunális Szolgáltató Kht.      |
| Paks                                            | DC Kommunális Szolgáltató Kft.                                      |
| Pápa                                            | Pápai Köztisztasági és Szolgáltató Kft.                             |
| Pécs                                            | BIOKOM Pécsi Környezetgazdálkodási Kft.                             |
| Polgárdi                                        | Vertikál Építőipari és Kommunális Szolgáltató Rt.                   |
| Ráckeve                                         | SZIGET Közszolgáltató Ipari és Kereskedelmi Kft.                    |
| Salgótarján                                     | Városgazdálkodási és Üzemeltetési Kft.                              |
| Sárvár                                          | Önkormányzati Közterületfenntartó és Köztisztasági Szervezet        |
| Sátoraljaújhely                                 | Újhelyi Gazdálkodás Kft.                                            |
| Siófok                                          | Siófoki Kommunális Szolgáltató Rt.                                  |
| Siófok                                          | Településgazdálkodási Rt.                                           |
| Sopron                                          | Soproni Városüzemeltetési Kft.                                      |
| Szarvas                                         | Szarvasi KOMÉP Városgazdálkodási Kft.                               |
| Százhalombatta                                  | SZÁKOM Kft.                                                         |
| Szeged                                          | Csongrád Megyei Településtisztasági Kft.                            |
| Szeged                                          | Szegedi Környezetgazdálkodási Kht.                                  |
| Székesfehérvár                                  | SZÉKOM Székesfehérvári Kommunális Kft.                              |
| Szekszárd                                       | HÉLIOSZ Önkormányzati Közszolgáltató Kft.                           |
| Szentendre                                      | Városi Szolgáltató Rt.                                              |
| Szolnok                                         | Rethmann Recycling Szolnok Rt.                                      |
| Szombathely                                     | Szombathelyi Városgazdálkodási Kft.                                 |
| Tapolca                                         | OTTO Tapolca Környezetvédelmi Szolgáltató Kft.                      |
| Tatabánya                                       | REM-Tatabánya Hulladékgyűjtési és Környezetvédelmi Rt.              |
| Tiszaújváros                                    | T-CONTRACTOR Kft.                                                   |
| Törökszentmiklós                                | Városüzemeltetési Centrum                                           |
| Vác                                             | OTTO Vác Környezetvédelmi Szolgáltató Kft.                          |
| Várpalota                                       | Várpalotai Önkormányzati Közütemi Vállalat                          |
| Veszprém                                        | Veszprémi Kommunális Rt.                                            |
| Zalaegerszeg                                    | Városgazdálkodási Kft.                                              |
| <b>Gyártó, forgalmazó és egyéb szervezetek:</b> |                                                                     |
| Agárd                                           | Velence-tavi Térségi Tanács Titkársága                              |
| Budapest                                        | KTK Közlekedés- Technika- Környezetvédelmi Kft.                     |
| Budapest                                        | MB AUTÓ Magyarország Kft.                                           |
| Budapest                                        | OTTO Hungária Kft.                                                  |
| Budapest                                        | PAT-KO Szellemi Termékeket Hasznosító Kft.                          |
| Budapest                                        | Pest Megye Önkormányzatának Hivatala                                |
| Budapest                                        | RUMPOLD Hungária Kft.                                               |
| Budapest                                        | UNITRADE-AUTÓ Kft.                                                  |
| Környe                                          | M-U-T Hungária Kft.                                                 |
| <b>Együttműködő partnerek:</b>                  |                                                                     |
| Barcs                                           | SERES Gépipari és Kereskedelmi Kft.                                 |
| Budapest                                        | DOPPSTADT Környezetvédelmi Kft.                                     |
| Budapest                                        | GEOHIDROTERV Mérnökgeológiai, Környezetvédelmi és Vízgazdasági Kft. |
| Budapest                                        | OTP-Deutsche Leasing Kft.                                           |
| Budapest                                        | RASANT Magyarországi Képviselet                                     |
| Budapest                                        | Saubermacher Magyarország Környezetvédelmi Szolgáltató Kft.         |
| Budapest                                        | KUHN Földmunka és Rakodógépeket Forgalmazó Kft.                     |
| Dunakeszi                                       | Dunakeszi Közütemi és Komplex Vállalkozási Kft.                     |
| Mosonmagyaróvár                                 | TERMÁL Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.                             |
| Szombathely                                     | ÖKOHYDRO Környezet- és Vízgazdasági Mérnöki Iroda Kft.              |

