

Szennyvíztisztítási technológiai számítások és vízminőségi értékelési módszerek

Segédlet a Szennyvíztisztítás c. tantárgy gyakorlati foglalkozásaihoz

Dr. Takács János

ME, Eljárástechnikai Tsz.

2002.

„Áldjon, én Uram, hűgunk, a Víz,
oly tiszta, hasznos, jóleső és kedves ő.”
(Szent Ferenc: Naphimnusz)

BEVEZETÉS:

A víz- és szennyvíztisztítás című tantárgy oktatásának feladata többek között az is, hogy a hallgatók megismerkedjenek a tisztítási technológiákhoz illeszkedő tervezési ill. üzemeltetési feladatok megoldásával, melyek későbbi szakmai munkájukat is segítheti. Az ismertetett feladatok a teljesség igénye nélkül erősen kapcsolódnak szennyvíztisztítás című tantárgy előadásainak ill. gyakorlati foglalkozásainak tananyagához.

A szakirodalmak felhasználásával összeállított segédlet két fő részből áll. Az első rész vízvizsgálási adatok statisztikai feldolgozásához szükséges legfontosabb statisztikai paramétereket, módszereket foglalja össze, melyek a rendelkezésünkre álló ill. mért vízjellemző adatok értékelésénél használhatók fel.

A segédlet második, nagyobbik részében található feladatok pedig, néhány kémiai feladat (oldatok koncentrációjának számítása, átszámítások, pH, gázok oldódása) – melyek a víz-, szennyvíztisztítási feladatok megoldásánál fontosak – után, a víz-, szennyvíztisztítási folyamatok, azok eszközeinek, berendezéseinek, reaktorainak üzemi paramétereinek, méretezéseinek számítási módszereit mutatják be adott feltételek mellett.

Remélem, hogy ez a számítási feladatokat tartalmazó összeállítás megkönnyíti hallgatóink szakmai előmenetelét, elsősorban az egyetemi tanulmányok során, de remélem azután is, szakmájuk művelésekor is eredményesen használható.

I. VÍZELEMZÉSI ADATHALMAZ JELLEMZŐI ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A víz-, szennyvíztisztítási technológiák megtervezése, azok optimális üzemeltetése rendszeres mintavétellel és az azt követő elemzési adatok megfelelő feldolgozásával történhet. Ehhez nagyon fontos, hogy

- a mintavétel, az elemzés szakszerűen történjen,
- tudjuk milyen adatokra van szükség,
- megfelelő adatfeldolgozás és értékelés.

Az adat igényt mindig a vizsgált technológia határozza meg, mely meghatározza a szükséges mintavétel helyét és számát is. A mintavétellel (lehet pont és átlag minta) szemben támasztott legfontosabb követelmény, hogy időben és minőségben reprezentatív legyen.

A mintavételt a minta feldolgozása és a szabvány szerinti elemzése követi. Ennek során egy adathalmaz áll elő, mely statisztikai jellemzőkkel vizsgálható, értelmezhető. A legfontosabb statisztikai jellemzők közé tartoznak:

- középérték
- szóródás
- gyakorisági eloszlás.

I.1. Középértékek

A számtani középérték: a vízminőség átlagos alakulására ad eredményt. Számítása ennek megfelelően:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Hátránya, hogy értékét néhány kiugró érték jelentősen befolyásolja, ill. nem fejezi ki, hogy az adatok közül mennyi és milyen mértékben lépi túl az esetszerűen előírt, betartandó határértéket.

I.2. Súlyozott számtani középérték:

Számításánál a vízminőségi jellemzők mellett a jellemzőkhöz tartozó víz mennyisége is szerepet játszik:

$$\bar{x}_s = \frac{\sum_{i=1}^m m_i x_i}{\sum_{i=1}^m m_i}$$

I.3. Medián

A víz vizsgálatok során nyert adathalmaz jellemzője lehet a medián (középső érték és annak helye)

$$\text{Helye: } n_m = \frac{n+1}{2}$$

Értéke: A két szomszédos érték átlaga

I.4. Módus

A leggyakoribban előforduló érték.

I.5. Szórás

Az eredmények egy jellemző számértékétől (pl. átlagos számtani középértéktől) való eltérés a szórással jellemezhető.

Négyzetes eltérés, szórás:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \text{ illetve véletlen minták esetében; illetve ha } n < 25, \text{ akkor } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Relatív szórás:

$$c_v = \frac{s}{x}$$

Az értékingadozás tágassága, terjedelme:

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

I.6. Gyakorisági eloszlás

A valószínűségi változó és a gyakoriság kapcsolatát fejezi ki. Meghatározásának lépései:

- Az adathalmaz osztályokra bontása,
- Osztályhatárok, osztályközepek meghatározása,
- Az adathalmaz tagjainak osztályba sorolása,
- Abszolút gyakoriság,
- Relatív gyakoriság,
- Táblázat, ábra készítés.

Példa

Az egyik szennyvíztisztító telepre bevezetett szennyvíz BOI_5 értékei a táblázatban adottak. Meghatározandó ezen adatok alapján a BOI_5 adatok jellemző adatai. (1. táblázat)

Sorszám	$x_i = BOI_5$	$m_i = \dot{Q} \text{ m}^3/\text{h}$
1	338	380
2	346	390
3	257	440
4	290	430
5	264	435
6	288	440
7	226	450
8	288	430
9	244	420
10	316	390
11	346	380

12	296	430
n = 12	x_i	m_i

1. táblázat: Egy tisztítótelepre érkező szennyvíz BOI_5 értéke és térfogatárama

$$\sum_{i=1}^{12} x_i = 3499 \text{ mg / l}$$

$$\sum_{i=1}^{12} m_i \cdot x_i = 1452740 \text{ g / h}$$

$$\sum_{i=1}^{12} m_i = 5015 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Számtani középérték:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{12} x_i}{n} = 291,6 \text{ mg / l}$$

Súlyozott számtani középérték:

$$\bar{x}_s = \frac{\sum_{i=1}^{12} m_i x_i}{\sum_{i=1}^{12} m_i} = \frac{1452740}{5015} = 289,7 \text{ mg / l}$$

Medián (középső érték) helye:

$$n_m = \frac{n+1}{2} = \frac{12+1}{2} = 6,5$$

A medián értéke:

$$M_d = \frac{x_6 + x_7}{2} = \frac{288 + 226}{2} = 257 \text{ mg / l}$$

A módus (a leggyakoribb érték) meghatározása táblázat segítségével történhet:

Előfordult mérési adatok nagyságrendben	Abszolút gyakoriság
226	1
244	1
257	1
264	1
288	2
290	1
296	1
316	1
338	1
346	2

2. táblázat: A BOI_5 értékek abszolút gyakorisága

A táblázat adatai alapján a vizsgált BOI₅ adatsor két leggyakoribb értékkel rendelkezik:

Módus 1 : 288 mg/l

Módus 2 : 346 mg/l

A BOI₅ adatsorra jellemző szórás:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\bar{x} = 291,6 \text{ mg/l}$$

n	x _i	x _i - \bar{x}	(x _i - \bar{x}) ²
1	338	46,4	2152,96
2	346	54,4	2959,36
3	257	-34,6	1197,16
4	290	-1,6	2,56
5	264	-27,6	761,76
6	288	-3,6	12,96
7	226	-65,6	4303,36
8	288	-3,6	12,96
9	244	-47,6	2265,76
10	316	24,4	595,36
11	346	54,4	2959,36
12	296	4,4	19,36
n=12			Σ 17242,92

3. táblázat: A BOI₅ értékek szórásának meghatározását segítő paraméterek

$$s = \sqrt{\frac{17242,92}{11}} = 39,59 \text{ mg/l}$$

A BOI₅ értékek relatív szórása:

$$c_v = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{39,59}{291,6} = 0,136$$

A BOI₅ értékek értékingadozás tágassága, terjedelme:

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

$$x_{\max} = 346 \text{ mg/l}$$

$$x_{\min} = 226 \text{ mg/l}$$

$$R = 346 - 226 = 120 \text{ mg/l}$$

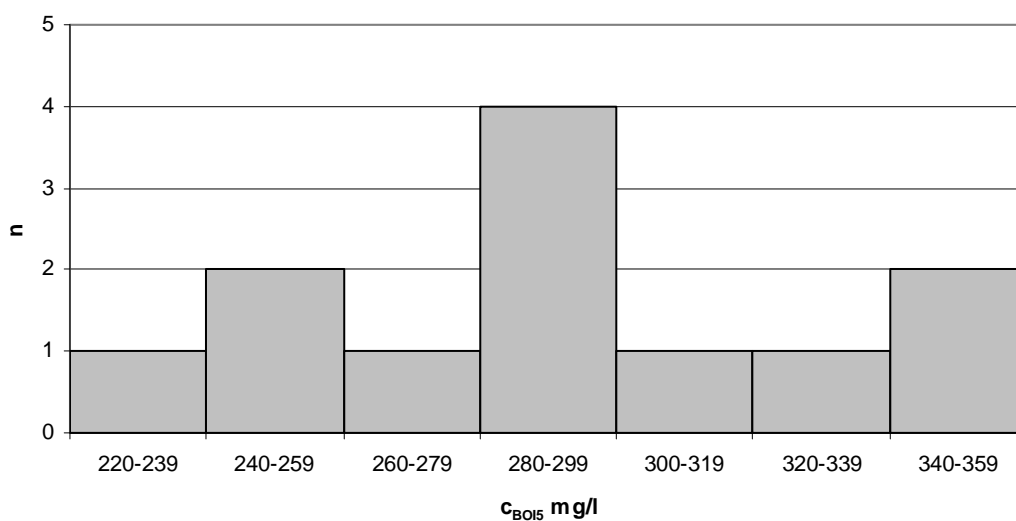
BOI₅ értékek gyakorisági eloszlása:

Sorszám	Osztályhatárok	Abszolút gyakoriság	Relatív gyakoriság	↓ %
1	220 – 239	1	0,083	8,33
2	240 – 259	2	0,167	24,99

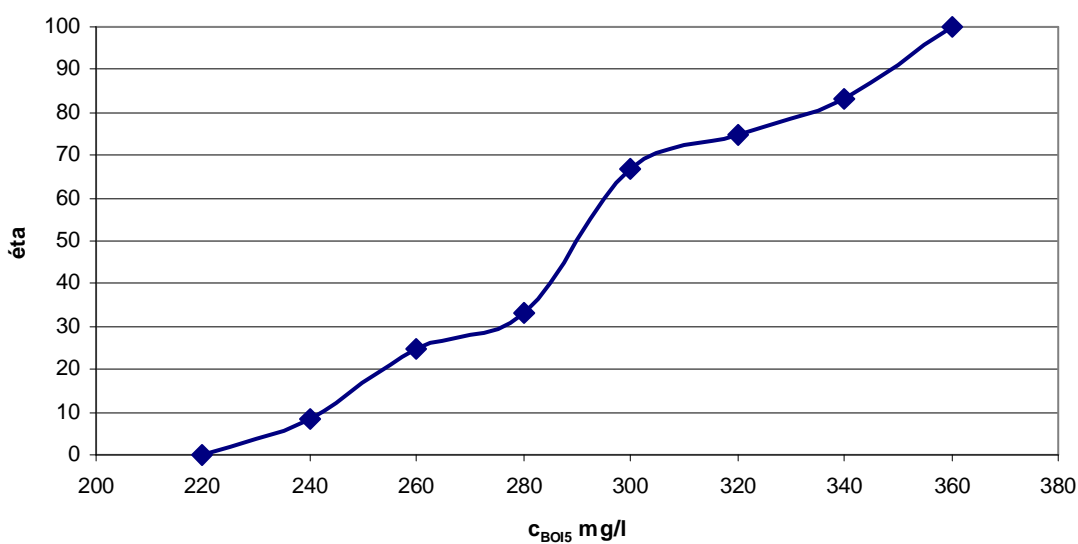
3	260 – 279	1	0,083	33,32
4	280 – 299	4	0,333	66,65
5	300 – 319	1	0,083	74,98
6	320 – 339	1	0,083	83,30
7	340 – 359	2	0,167	100

4. táblázat: Gyakorisági táblázat

Gyakorisági eloszlás és kummulatív görbék:



1. ábra: Gyakorisági eloszlás



2. ábra: Gyakorisági kummulatív görbe

I.7. A változók közötti kapcsolat meghatározása

A víz-, szennyvíztisztítási folyamatokban a jellemző paraméterek között meghatározott összefüggés áll fenn. A paraméterek közötti kapcsolat bizonyos esetekben matematikailag jól megközelíthető, de sok esetben tapasztalati adatokat figyelembe véve írhatók fel a függőségek.

A víz- és szennyvíztisztítási eredmények feldolgozása legtöbb esetben táblázatos, grafikus és egyenlet alakban történő adatfeldolgozás.

Táblázatos feldolgozás: az adatok táblázatba rendezése kevésbé látványos, következtetések levonására alkalmas, lényeges a jó áttekinthetőség, kiemelés.

Grafikus megoldás: több munkát igényel, de az értékpárok közötti kapcsolatot sokkal szemléletesebben jelzi.

Egyenlet alakban történő megadás: több matematikai munkát igényel. Ma a számítógépek az egyenlet megadására képesek, adott grafikus ábrázolás és a függvénykapcsolat kiválasztása esetén.

Több esetben előfordulhat, hogy a mérési eredményekből a függő és független változó felvételével tapasztalati egyenleteket lehet felírni. Ennek lépései a feltételezett függvénykapcsolat egyesített általános alakjának meghatározása, a következő az általános egyenlet konstans értékeinek kiszámítása, majd a pontosság ellenőrzése.

A tapasztalati egyenletek általános alakjának meghatározását több lépcsőben végezhetjük el. Először a könnyebb adatkezelhetőség miatt táblázatba foglaljuk az összetartozó függő és független változókat, majd grafikusán ábrázoljuk egy lineáris koordináta-rendszerben, és az ábrázolt pontokat összekötjük. Ezt követi az ismert illetve szakkönyvekben megadott különböző, ismert egyenlettel rendelkező görbétípussal való összehasonlítás. (Szükség esetén koordináta transzformációval könnyíthetjük a megoldást.) A függvénykapcsolat meghatározását követi az egyenlet konstansainak meghatározása. Ennek módszerei:

Grafikusan: linearizálás után

Számítással:

- függő változó nulla-eltérésének meghatározásán alapuló módszer
- középérték módszer
- jellemző pontok kiválasztásának módszere
- legkisebb négyzetek módszere

A függő változó nulla-eltérésének meghatározásán alapuló módszer a függő változó adott független változóhoz tartozó számított és mért értékei különbségének meghatározásán alapul. Viszonylag jó kiegyenlítő görbéhez jutunk, ha a

$$\sum_{i=1}^n (y_i - y) = \sum_{i=1}^n \Delta y_i = 0$$

feltétel teljesül. Ugyanakkor feltételezzük azt, hogy a felírt összefüggés egy adott halmaz n_1, n_2, \dots, n_i részhalmazában is fennáll, azaz

$$\sum_{i=1}^{n_1} \Delta y_i = \sum_{i=1}^{n_2} \Delta y_i = \dots = 0$$

A halmazokat célszerű annyi részhalmazra felírni, ahány ismeretlen állandó van a feltételezett egyenletben, melyek segítségével az állandók kiszámíthatók.

A középértékek módszerének lényege az, hogy az n elemű adathalmaz y_i, x_i értékpárjait az ismeretlen állandók számának megfelelő részhalmazra bontjuk, képezzük a részhalmazok számtani középértékeit. Ezeket a középértékeket helyettesítjük be az egyenlet általános alakjába és kiszámíthatók az állandók értékei.

A jellemző pontok kiválasztásának módszere az előzőleg ismertetett középérték módszer egyszerűsített változata, amikor is számtani átlagok helyett jellemző értékpárok behelyettesítésével határozzuk meg az egyenlet ismeretlen állandóinak értékét.

A legkisebb négyzetek módszerének elve azt mondja ki, hogy a mérési adatok pontos kiegyenlítése, tapasztalati egyenlet általános alakjában szereplő állandók legvalószínűbb értékeinek meghatározása, az x_i eltérések négyzetösszege minimum feltételének előírásával lehetséges:

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = s = \min$$

A szélsőérték számításnak megfelelő differenciálást a feltételezett tapasztalati egyenlet állandói szerint elvégezve egy egyenletrendszerhez jutunk, melyet determinánsok segítségével (a Cramer-szabály szerint) lehet megoldani.

A következőkben nézzünk meg néhány példát az említett módszerek alkalmazására. A példák az általános szűrőegyenlet megoldásait (konstansainak meghatározását) takarják a különböző módszerekkel.

Az általános szűrőegyenlet képlete optimális szűrés esetén:

$$t = b_1 V^2 + b_0 V$$

azaz az egyenlet két állandóval rendelkezik. Meghatározása szűrési kísérletek alatt felvett V_i, t_i értékpárokkal lehetséges.

V_i [ml]	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
t_i [s]	2	6	12	20	30	42	56	72	90	110
t_i/V_i	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22

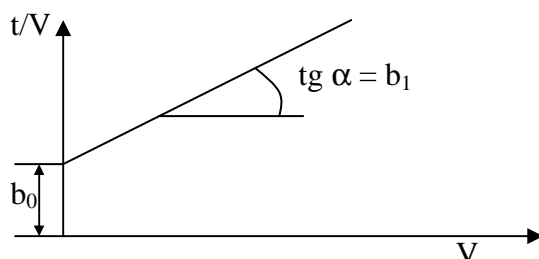
5. táblázat: Szűrési kísérleti adatok

Megoldások:

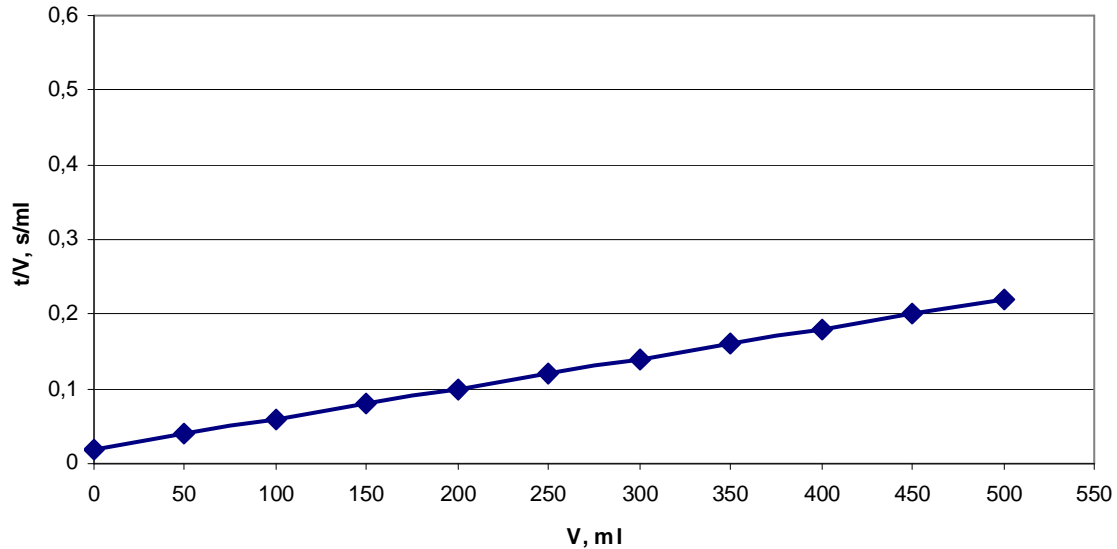
a) **Linearizálással és grafikus ábrázolással:**

$$t = b_1 V^2 + b_0 V \quad /V$$

$$t/V = b_1 V + b_0$$



3. ábra: Általános szűrőegyenlet ábrázolása



4. ábra: A szűrési kísérlet általi szűrési görbe

Az ábrázolásból történő konstans meghatározás:

$$b_0 = 0,02 \text{ s/ml}$$

$$b_1 = \frac{0,22 - 0,04}{500 - 50} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ s/ml}^2$$

b) A konstansok meghatározása függőváltozó „0”-eltérésének módszerével:

Az általános szűrőegyenletre a módszer alkalmazva az ismeretlenek meghatározása során az alábbi egyenletekhez jutunk, ha $dV = \text{konstans}$:

$$2b_1 = \frac{\sum_{i=n/2}^n dt_i - \sum_{i=1}^{n/2} dt_i}{dV \left(\sum_{i=n/2}^n V_i - \sum_{i=1}^{n/2} V_i \right)}$$

és

$$b_0 = \overline{dt_i / dV_i} - 2b_1 \overline{(V_i - dV/2)}$$

Az adatok: $dV = 50 \text{ ml}$

V_i [ml]	t_i [s]	dt_i [s]	dt_i/dV [s/ml]	$V_i-dV/2$ [ml]	t/V [s/ml]
50	2	2	0,04	25	0,04
100	6	4	0,08	75	0,06
150	12	6	0,12	125	0,08
200	20	8	0,16	175	0,10
250	30	10	0,20	225	0,12
Σ 750	70	30	0,60	625	$\bar{x}_{i=1-5} = 0,08$
300	42	12	0,24	275	0,14
350	56	14	0,28	325	0,16
400	72	16	0,32	375	0,18
450	90	18	0,36	425	0,20
500	110	20	0,40	475	0,22
Σ 2000	1190	80	1,6	1875	$\bar{x}_{i=5-10} = 0,18$

6. táblázat: A függőváltozó „0”-eltérés módszerének megoldásához szükséges számítási adatok

$$\overline{dt_i / dV} = 0,22 \text{ s / ml}$$

$$\overline{V_i - dV/2} = 250 \text{ ml}$$

$$\overline{V}_{i=1-5} = 150 \text{ ml}$$

$$\overline{V}_{i=5-10} = 400 \text{ ml}$$

Behelyettesítve:

$$2b_1 = \frac{80 - 30}{50(2000 - 750)} = \frac{50}{50 \cdot 1250} = \underline{\underline{8 \cdot 10^{-4} \text{ s / ml}^2}}$$

$$b_0 = 0,22 - 8 \cdot 10^{-4} \cdot 250 = 0,22 - 0,2 = \underline{\underline{0,02 \text{ s/ml}}}$$

c) Közéérték módszerrel:

Két ismeretlen miatt a halmazt két egyenlő részre osztva és két részhalmaz számtani átlagait behelyettesítve (adatok az előző táblázatból):

$$t/V = b_1 V + b_0$$

$$0,08 = b_1 \cdot 150 + b_0 \quad / \cdot (-1)$$

$$0,18 = b_1 \cdot 400 + b_0$$

$$-0,08 = -b_1 \cdot 150 - b_0$$

$$0,18 = b_1 \cdot 400 + b_0$$

$$0,18 - 0,08 = b_1 \cdot (400 - 150)$$

$$0,1 = b_1 \cdot 250$$

$$b_1 = 0,1 / 250$$

$$\underline{b_1 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ s/ml}^2}$$

és a b_0 -at pl. a második egyenletből a b_1 behelyettesítésével és a számítások elvégzésével kapjuk.

$$b_0 = 0,18 - b_1 \cdot 400$$

$$b_0 = 0,18 - 0,0004 \cdot 400 = 0,18 - 0,16$$

$$\underline{b_0 = 0,02 \text{ s/ml}}$$

d) Az egyenlet állandói meghatározhatók a legkisebb négyzetek módszerével :

A szűrőegyenletek alakja:

$$t/V = b_1 V + b_0 \text{ azaz,}$$

$$y = b_1 x + b_0$$

Az alapelv alapján felírható:

$$\sum_{i=1}^n (y - y_i)^2 = \sum_{i=1}^n (b_1 x + b_0 - y_i)^2 = s = \min$$

A szélsőérték számítást elvégezve, egyszerűsítve az alábbi normál egyenletekhez jutunk:

$$n \cdot b_0 + b_1 \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i$$

$$b_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + b_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

Az előző feladatoknál felhasznált adatokat (7. táblázat) behelyettesítve, $n=10$ esetén ezen egyenletek a következő módon alakulnak:

N	x_i		y_i	x_i^2	$x_i y_i$
	V_i	t_i	t_i/V_i		
1	50	2	0,04	2500	2
2	100	6	0,06	10000	6
3	150	12	0,08	22500	12
4	200	20	0,10	40000	20
5	250	30	0,12	62500	30
6	300	42	0,14	90000	42
7	350	56	0,16	122500	56
8	400	72	0,18	160000	72
9	450	90	0,20	202500	90
10	500	110	0,22	250000	110
Σ			1,30	962500	440

7. táblázat: A legkisebb négyzetek módszerével történő szűrőegyenlet konstans meghatározáshoz szükséges részszámítások és eredményei

$$10 \cdot b_0 + b_1 \cdot 2750 = 1,3 \text{ illetve}$$

$$b_0 \cdot 2750 + b_1 \cdot 962500 = 440$$

Az egyenletrendszer megoldása a Cramer-szabály szerint:

$$b_1 = \frac{D_b}{D} = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} 10 & 1,3 \\ 2750 & 440 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 10 & 2750 \\ 2750 & 962500 \end{vmatrix}} = \frac{10 \cdot 440 - 2750 \cdot 1,3}{10 \cdot 962500 - 2750 \cdot 2750} = \frac{825}{2062500} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ s/ml}^2$$

A b_0 -t pedig megkapjuk behelyettesítés után akármelyik normál egyenletből, azaz:

$$10b_0 + 4 \cdot 10^{-4} \cdot 2750 = 1,3$$

$$b_0 = \frac{1,3 - 4 \cdot 10^{-4} \cdot 2750}{10} = \frac{1,3 - 1,1}{10} = 0,02 \text{ s/ml}$$

A bemutatott példák azonos eredményei igazolják, az egyenletek állandóinak meghatározásának többféle lehetősége van. Természetes, hogy a módszer kiválasztásánál célszerűbb a legegyszerűbb, célravezetőbb mellett dönteni.

II. Víz-, szennyvíztisztítási módszerekkel kapcsolatos feladatok

A vízben levő nagy számú szennyezőanyagok csoportosíthatók, valamilyen tulajdonságai alapján, melyek meghatározzák azok leválasztásának, lebontásának, ártalmatlanításának módját.

A csoportosítás alapja lehet:

megjelenése, fázisállapota: - szilárd (lebegő)

- oldott

- gáz

kémiai jellege: - szerves

- szervetlen

biológiai lebonthatósága: - bontható

- nehezen bontható

- nem bontható

A csoportosításnak megfelelően megkülönböztethetünk:

- mechanikai (fizikai)

- kémiai

- biológiai

víz-, szennyvíztisztítási folyamatokat, melyekhez természetesen hatásfok növelés céljából segédműveletek (kémiai, fizikai, fizikai-kémiai) alkalmazására is sor kerülhet.

A példatár ezen része az előzőeknek megfelelő tagoltságú. Első részében egyszerűbb kémiai számításokat tartalmaz oldatokkal kapcsolatosan, majd a víz-, szennyvíztisztítási módszerek, berendezések főbb paramétereinek meghatározásával foglalkozik, mely különböző tisztítási módszerek tervezéséhez, üzemeltetéséhez nyújt segítséget.

II.1. Kémiai számítások

Oldat: folyékony, szilárd vagy gáz halmazállapotú anyagok homogén eloszlása valamely oldószerben.

II.1.1. Oldatok koncentrációjának számítása

Az oldat egyik legfontosabb paramétere az oldott anyag koncentrációja, mely az 8. táblázatban összefoglalt koncentrációtípusokkal jellemezhető.

Sorszám	Koncentráció	Jele	Fogalom	Matematikai megfogalmazás	Mértékegység
1	Tömegkoncentráció	c	Az oldott anyag g-ban, az oldat l-ben kifejezett térfogatára vonatkoztatva.	$c = \frac{m}{V}$	[kg/l] [g/l]
2	Tömegszázalék	p _{töm}	Az oldott anyag tömege·100 % az oldat tömegére vonatkoztatva.	$p = \frac{m \cdot 100\%}{m_0}$	[m %]
3	Térfogatszázalék	p _{térf}	Az oldott komponens térfogata·100 % az elegy térfogatára vonatkoztatva.	$p = \frac{V_m \cdot 100\%}{V}$	[tf %]
4	Móltört	x _i	Az oldott anyag i móljainak száma, az oldatban lévő mólok összegére vonatkoztatva.	$x_i = \frac{n_i}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots}$	-
5	Mólszázalék	p _x	Móltört·100 %	$p_x = \frac{n_1 \cdot 100\%}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots}$	[mol %]
6	Molaritás	c _M	Az oldott anyag móljainak száma az oldat literben kifejezett térfogatára vonatkoztatva.	$c_M = \frac{n}{V} = \frac{m}{M \cdot V}$	[mol/l]
7	Normalitás	c _N	Az oldott anyag ekvivalenseinek száma az oldat l-ben kifejezett térfogatára vonatkoztatva.	$c_N = \frac{n_e}{V} = \frac{m}{E \cdot V}$	[n/l]

8. táblázat: Az oldat koncentrációk típusai, fogalmai, azok matematikai megfogalmazása.

m: oldott anyag tömege
m₀: oldat tömege
V: oldat térfogata
V_m: oldott anyag térfogata
n: oldott anyag móljainak száma
M: Mól tömeg
E: ekvivalens tömeg

Példák:

- II.1.1.1.** Mennyi a szuszpenzióban a szennyező szilárdanyag tömegkoncentrációja, ha a $V=150$ ml szuszpenzióból leválasztott és szárított anyagmennyiség $m=450$ mg?

$$c = \frac{m}{V}$$

$$c = \frac{0,45 \text{ g}}{0,150 \text{ l}} = 3 \text{ g/l}$$

- II.1.1.2.** Vas(III)-szulfát oldat készítésénél $V=250$ ml oldatba összesen $m=25$ g koagulálószerrel mértek be. Mennyi az elektrolit tömegkoncentrációja?

$$\frac{25 \text{ g}}{250 \text{ ml}} = \frac{25.000 \text{ mg}}{250 \text{ ml}} = 100 \text{ mg/ml}$$

- II.1.1.3.** Határozzuk meg az oldat tömegszázalékát, ha 250 g desztillált vízben 25 g kalciumhidroxidot oldunk.

oldószer tömege: $m_{\text{osz}}=250$ g

oldott anyag tömege: $m=25$ g

oldat tömege: $m_o=275$ g

$$p = \frac{m}{m_o} \cdot 100$$

$$p = \frac{25}{275} \cdot 100 = 9,09 \text{ m\%}$$

- II.1.1.4.** $V=8000$ m³ rétegvízből levegőztetéssel $V_m=4$ m³ metánt választottak le. Hány térfogatszázalék metánt tartalmazott a rétegvíz?

$$p = \frac{V_m}{V} \cdot 100\%$$

$$p = \frac{4 \text{ m}^3}{8000 \text{ m}^3} \cdot 100 = 0,05 \text{ tf\%}$$

- II.1.1.5.** A kezelt vízben 340 mg/l kalciumszulfátot és 76 mg/l nátriumkloridot mértek. Határozza meg a kalciumszulfát moltömegének értékét!

$$x_i = \frac{n_i}{\sum n_i}$$

$$n_i = \frac{m_i}{M_i}$$

$$x_i = \frac{n_{CaSO_4}}{n_{CaSO_4} + n_{NaCl}}$$

$$n_{CaSO_4} = \frac{340 \text{ mg}}{136 \text{ mg / ml}} = 2,5 \text{ mol}$$

$$n_{NaCl} = \frac{76 \text{ mg}}{58,5 \text{ mg / ml}} = 1,3 \text{ mol}$$

$$x_{CaSO_4} = \frac{2,5}{2,5 + 1,3} \approx 0,66$$

A CaSO₄ molszázaléka pedig:

$$p_x = x_{CaSO_4} \cdot 100 = 0,66 \cdot 100 = 66 \text{ mol\%}$$

- II.1.1.6.** Hány mólos az a kénsavas oldat, amely literenként m=147 g H₂SO₄-et tartalmaz?
A kénsav relatív molekulatömege M=98 g.

$$c_M = \frac{n}{V} = \frac{m}{M \cdot V}$$

$$c_M = \frac{147 \text{ g}}{98 \text{ g / mol} \cdot 1 \text{ l}} = 1,5 \text{ mol / l}$$

- II.1.1.7.** Határozzuk meg az oldat normalitását, ha 1,5 l oldatban 25 g Ca(OH)₂ található!
A Ca(OH)₂ relatív molekulatömege M=74 g.

$$c_N = \frac{n_e}{V} = \frac{m}{E \cdot V}$$

Az E ekvivalens tömeg:

$$E = \frac{M}{z}$$

ahol z: a kation (Ca) vegyértéke=2 behelyettesítve:

$$E = \frac{74}{2} = 37$$

és

$$c_N = \frac{25}{37 \cdot 1,5} = \frac{25}{55,5} = 0,45 \text{ egyenérték / l, azaz az oldat } 0,45 \text{ normál.}$$

Koncentrációegységek átszámítása:

Tömegszázalékról térfogatszázalékra és vissza:

$$p_{\text{térf}} = \frac{p_{\text{töm}} \cdot \rho_{\text{oldat}}}{\rho_{\text{oldott anyag}}}$$

$$p_{\text{töm}} = \frac{p_{\text{térf}} \cdot \rho_{\text{oldott anyag}}}{\rho_{\text{oldat}}}$$

Tömegszázalékról mólszázalékra és vissza:

$$p_{x1} = \frac{p_{1\text{töm}} \cdot M_2}{p_{2\text{töm}} \cdot M_1 + p_{1\text{töm}} \cdot M_2} \cdot 100$$

A g/l koncentrációegység átszámítása molaritásba ill. normalitásba:

$$c_M = \frac{M}{c}$$

$$c_n = \frac{c}{E}$$

A tömegszázalék, a g/l, mol/l és normalitás kapcsolata:

$$p_{\text{töm}} = \frac{c}{V \cdot \rho_{\text{oldat}}} \cdot 100[\%]$$

$$p_{\text{töm}} = \frac{n \cdot M}{V \cdot \rho} \cdot 100[\%]$$

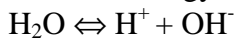
ill.

$$p_{\text{töm}} = \frac{n \cdot E}{V \cdot \rho} \cdot 100[\%]$$

[c] = g/l esetén a V=1000 ml.

II.1.2. A pH érték, a H⁺- és az OH⁻-ionkoncentráció kiszámítása.

A víz disszociációs egyenlete:



A víz disszociációs állandója, K_D:

$$K_D = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} = 1,8 \cdot 10^{-16} \text{ mol / l}$$

A víz ionszorzata, K_V:

$$K_V = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-14} [\text{mol / l}]^2$$

A pH érték a hidrogénion negatív tízes alapú logaritmus:

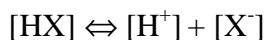
$$\text{pH} = - \lg [\text{H}^+]$$

$$[H^+] = \frac{K_v}{[OH^-]}$$

Elektrolitok esetén a pH értéket a K_D disszociációs állandó segítségével lehet meghatározni.

$$K_D = \frac{[A^+][B^-]}{[AB]}$$

Savak esetén:



Disszociációs állandója: $K_D = K_S$

$$K_S = \frac{[H^+][X^-]}{[HX]}$$

$H^+ = X^-$ és így

$$K_S = \frac{[H^+]^2}{[HX]}$$

$$[H^+] = \sqrt{K_S \cdot [HX]}$$

$$pH = -\lg[H^+]$$

Bázisok esetén, az előzőekhez hasonlóan:

$$[OH^-] = \sqrt{K_B \cdot [BOH]}$$

A pH érték számítható a disszociációs fok ismeretében is:

$$\alpha = \frac{\text{disszociált molekulák száma}}{\text{eredeti molekulák száma}}$$

Savak esetén: $[H^+] = c \cdot \alpha$

Bázisok esetén: $[OH^-] = c \cdot \alpha$

Példák:

II.1.2.1. Mennyi a sav pH értéke, ha a hidrogénion koncentrációja 0,1 mol/l?

$$pH = -\lg[H^+]$$

$$[H^+] = 0,1 \text{ mol/l} = 10^{-1} \text{ mol/l}$$

$$pH = -\lg 10^{-1} = -(-1) = 1$$

$$\underline{pH = 1}$$

II.1.2.2. Mekkora a lúg pH értéke, ha az OH^- koncentrációja 10^{-3} mol/l?

$$[H^+] = \frac{K_v}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{10^{-3}} = 10^{-11}$$

$$pH = -\lg 10^{-11} = -(-11) = 11$$

$$\underline{pH = 11}$$

II.1.2.3. Mekkora a pH értéke a 0,1 mólos kénsavnak, ha a $K_s=1,2 \cdot 10^{-2}$?

$$[H^+] = \sqrt{K_s \cdot [HX]} = \sqrt{1,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l} \cdot 0,1 \text{ mol/l}} = \sqrt{1,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol}^2/\text{l}^2} = 3,46 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}$$

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg 3,46 \cdot 10^{-2}$$

$$\underline{pH = 1,46}$$

II.1.2.4. A 0,1 mólos ammónium-hidroxid oldat milyen pH-jú, ha a $K_B = 1,8 \cdot 10^{-5}$?

$$[OH^-] = \sqrt{K_B \cdot [BOH]}$$

$$[OH^-] = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l} \cdot 0,1 \text{ mol/l}} = 1,34 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$$

$$[H^+] = \frac{K_v}{[OH^-]}$$

$$[H^+] = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{1,34 \cdot 10^{-3}} = 7,5 \cdot 10^{-12} \text{ mol/l}$$

$$pH = -\lg [H^+] = -\lg 7,5 \cdot 10^{-12}$$

$$\underline{pH = 11,13}$$

II.1.2.5. Mekkora a pH értéke a 0,1 mólos NaOH-nak, ha a disszociációs fok $\alpha=0,84$?

$$[OH^-] = c \cdot \alpha$$

$$[OH^-] = 0,1 \text{ mol/l} \cdot 0,84 = 8,4 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}$$

$$[H^+] = \frac{K_v}{[OH^-]}$$

$$[H^+] = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{8,4 \cdot 10^{-2}} \text{ mol/l} = 1,19 \cdot 10^{-13} \text{ mol/l}$$

$$pH = -\lg [H^+] = -\lg 1,19 \cdot 10^{-13}$$

$$\underline{pH = 12,92}$$

II.1.3. Gázok abszorpciója folyadékban

Előfordulhat, hogy pl. aerob biológiai tisztításnál oxigént kell elnyeletni a tisztítandó szennyvízben, ill. a víz gáztartalma esetén a gáztalanításhoz szükséges az abszorbeált gáz mennyiségének a meghatározása.

A gázok folyadékban való abszorpciója során egy egyensúlyi helyzet áll elő, mellyel kapcsolatban J. Dalton és W. Henry állított fel törvényszerűséget.

Dalton első sorban a gázelegy összenyomása és az elegy komponensei parciális nyomásának összefüggésével foglalkozott, míg Henry egy folyadékban egy gáz oldhatóságának egyensúlyát írta fel:

$$c = k \cdot p_G$$

ahol

c: a gáz koncentrációja az oldatban

p_G : a gáz parciális nyomása a gázfázisban

k: oldhatósági együttható.

Az összefüggés kis nyomás, híg oldat esetén érvényes.

Az abszorpció ill. oldhatósági együtthatók között több félélt különböztethetünk meg, melyek közül a legelterjedtebb a Bunsen-féle.

A Bunsen-féle együttható az oldószer meghatározott térfogata által a megadott hőmérsékleten felvett gáztérfogat, ha a gáz nyomása 760 Hgmm. Mértékegysége l/l, vagy m^3/m^3 .

Néhány gáz Bunsen-féle abszorpció (oldhatósági) együtthatója található a 9. táblázatban.

Gáz	Hőmérséklet [°C]						
	0	10	20	30	40	50	100
Hidrogén	0,02148	0,01955	0,01819	0,01699	0,01644	0,01608	0,01600
Oxigén	0,04899	0,03802	0,03103	0,02608	0,02360	0,02090	0,01720
Nitrogén	0,02354	0,01861	0,01545	0,01342	0,01184	0,01088	0,00850
Levegő	0,02885	0,02268	0,01871	0,01607	0,01415	0,01288	0,01110
Szén-dioxid	1,713	1,194	0,878	0,665	0,530	0,436	-
Kén-hidrogén	4,670	3,399	2,582	2,037	1,660	1,392	0,81
Metán	0,05563	0,04177	0,03306	0,02762	0,02369	0,02134	0,0170

9. táblázat: Néhány gáz Bunsen-féle abszorpció K_B együtthatója vízre vonatkoztatva.

Ezek segítségével az oldott gáz mennyiség, V_G :

$$V_G = K_B \cdot p_G \cdot V_L,$$

ahol V_L : az oldószer térfogata.

Példák:

II.1.3.1. Hány m^3 normál állapotú oxigén oldódik 100 m^3 vízben 10 °C-on és 760 Hgmm-en?

$$K_B = 0,03802 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ (760 Hgmm)}$$
$$V_{O_2} = \frac{0,03802 \cdot 760 \cdot 100}{760} = \underline{\underline{3,802 \text{ m}^3}}$$

II.1.3.2. A levegő 21 tf% O₂-ből és 79 tf% N₂-ből tevődik össze a többi összetevő elhanyagolása esetén. Hány m³ oldódik a vízben (V_L = 100 m³, hőmérséklete 10°C), ha a gázok hőmérséklete 20 °C és nyomásuk 740 Hgmm?

A gázok parciális nyomásai:

$$p_i = \frac{tf\%}{100 \cdot tf\%} \cdot p_{\bar{o}}$$

$$p_{O_2} = \frac{21\,tf\%}{100\,tf\%} \cdot 740\,Hgmm = 155,4\,Hgmm$$

$$p_{N_2} = p_{\bar{o}} - p_{O_2} = 740 - 155,4 = 584\,Hgmm$$

A Bunsen-féle oldhatósági együttható 10 °C-ú víz esetén:

$$K_{BO_2} = 0,03802$$

$$K_{BN_2} = 0,01861$$

Az oldott normálállapotú gáz térfogatok:

$$V_{O_2} = \frac{0,03802 \cdot 155,4 \cdot 100}{760} = 0,7774\,m^3$$

$$V_{N_2} = \frac{0,01861 \cdot 584,6 \cdot 100}{760} = 1,4315\,m^3$$

A normál körülményeknél kapott eredményeket átszámolva a megadott feltételekre:

$$V_0 = \frac{pVT_0}{p_0T} \text{ gáz törvény szerint, ha}$$

	V ₀	T	p	T ₀	p ₀
O ₂	0,7774 m ³	293 °K	740 Hgmm	273 °K	760 Hgmm
N ₂	1,4315 m ³	293 °K	740 Hgmm	273 °K	760 Hgmm

10. táblázat: A levegő O₂ és N₂ jellemző adatai

$$V = \frac{V_0 p_0 T}{p T_0}$$

$$V_{O_2t} = \frac{0,7774 \cdot 760 \cdot 293}{740 \cdot 273} = 0,8569\,m^3$$

$$V_{N_2t} = \frac{1,4315 \cdot 760 \cdot 293}{740 \cdot 273} = 1,5779\,m^3$$

Azaz az adott paraméterek mellett a 100 m³ vízben 0,8569 m³ oxigén és 1,5779 m³ nitrogén oldódik.

II.2. Víz-, szennyvíztisztítási technológiai számítások

A víz-, szennyvíztisztítás fő műveletei a fázisszétválasztás (a különböző halmazállapotú anyagok folyadéktól való elválasztása) majd az oldott anyagok lebontása, kicsapátása, ártalmatlanítása. E feladatok különböző módszerekkel valósíthatók meg (11. táblázat). A példatár további része e folyamatok, eszközök, berendezések jellemzőinek meghatározásával foglalkozik.

Sorszám	Módszerek	Eszközök, berendezések
1	Durva szilárd szennyezők leválasztása	Rács Ívszita Dobszűrő stb.
2	Kisméretű szilárd szennyezők leválasztása	Homokfogó
3	Kisebb sűrűségű szennyezők leválasztása	Olajfogó Zsírfogó
	Semlegesítés Kicsapátás Emulzióbontás Koagulálás, flokkulálás	segédműveletek
4	Kolloidok finom lebegő anyagok leválasztása	Ülepítők Szűrő Flotálócella Hidrociklon
5	Oldott szerves anyag lebontás, oxidáció	Biológia, vegyszeres oxidáció
6	Oldott gázok eltávolítása	Gáztalanítók
7	Oldott anyagok leválasztása, víztelenítés, sóatlanítás	Fagyasztás Desztillálás Kicsapátás Mikro-, Ultraszűrők Adsorberek Ioncserélők Elektrodialízis Fordított ozmózis berendezés
8	Fertőtlenítés	
9	Iszapkezelés	Stabilizálás Rothasztás, biogáztermelés Vítelenítés (sűrítés, szűrés) Komposztálás Elhelyezés, ártalmatlanítás

11. táblázat A víz-, szennyvíztisztítás részfolyamatai

Durva szilárd szennyezők leválasztása

E szennyezők jellegüktől (szemcseméret, sűrűség) függően különböző céllal, eltérő eszközökkel, berendezésekkel távolíthatók el.

A nagy szemcseméretű, nagy sűrűségű szilárd szennyezők leválasztására szolgálnak a kőfogók, melyek a csatornában zsompként kerülnek kialakításra. Mélysége 0,5 – 1,0 m, az oldalfalait pedig úgy alakítják ki, hogy a megfogott anyagot markolóval lehessen kiszedni belőle.

Rács és rácsszerű berendezések.

A különböző szemcseméretű lebegő (áramlással szállítódó) szennyezők leválasztására szolgálnak.

II.2.1. Rács tisztítási számítások

II.2.1.1. Szennyvízrács méreteinek meghatározása az alábbi kiinduló adatok mellett szükséges:

Szennyvízhozam: $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{nap}$

Rácspálca közötti áramlási sebesség: $v_{\max} = 0,7 \text{ m/s}$

Rácspálca szélesség: $d_p = 10 \text{ mm}$

Rácspálcaköz: $k_p = 20 \text{ mm}$

Az órai csúcsvízhozam: $q = Q/14$

$q = 6000/14 \approx 430 \text{ m}^3/\text{h} = 0,12 \text{ m}^3/\text{s}$

A szükséges átfolyási felület:

$$F = q/v$$

$$F = 0,12/0,7 = 0,17 \text{ m}^2$$

A rácsszelvényben átlagosan $H = 0,3 \text{ m}$ szennyvízmélységgel számolva a pálcaközök teljes átfolyási szélessége:

$$L = F/H = 0,17/0,3 = 0,57 \text{ m}$$

A pálcaközök száma az adatok ismeretében:

$$n = L/k_p = 0,57/0,02 \approx 29 \text{ db}$$

A teljes, szükséges rácsszélesség pedig:

$$L_t = n \cdot (d_p + k_p) = 29 \cdot 0,03 = \underline{\underline{0,87 \text{ m}}}$$

A rács okozta visszaduzzasztás mértékének meghatározása a Kirschmer-féle képlet segítségével.

$$h_v = \beta \cdot \left(\frac{d_p}{k_p}\right)^{4/3} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{v^2}{2g},$$

ahol

β : A rácspálca alaktényezője (5. ábra)

d_p : Rácspálca szélessége

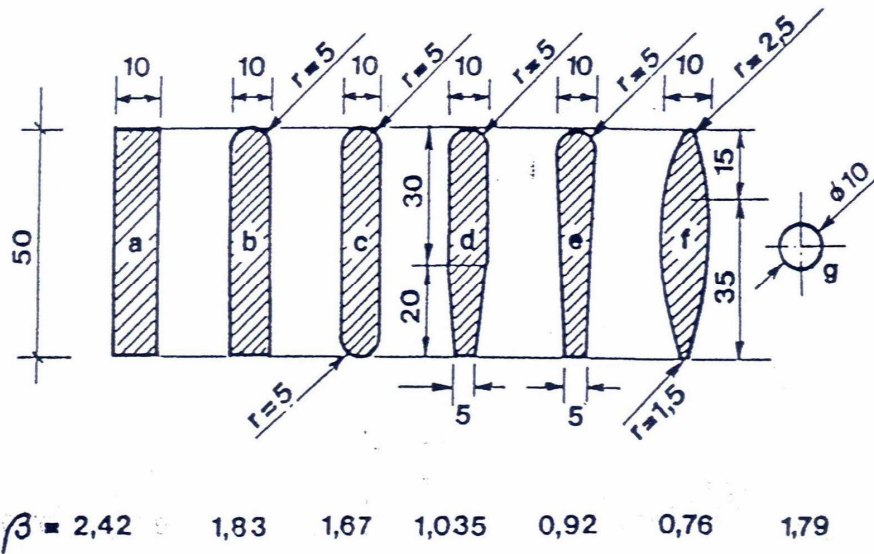
k_p : Rácspálcaköz

α : A rács beépítés hajlásszöge

v : A rács előtti átlagos sebesség

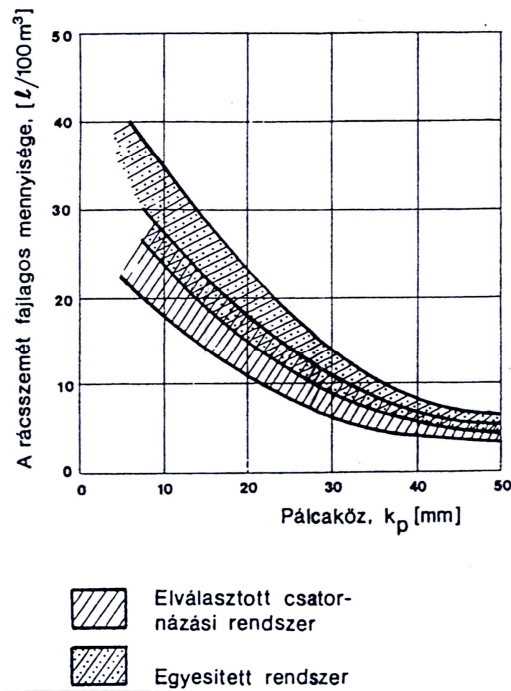
A megengedett maximális visszaduzzasztás mértéke: 0,05 m

Ugyanolyan méretek mellett a rácspálca profilját változtatva a visszaduzzasztás mértéke csökkenthető.



5. ábra: Néhány rácspálca profil méretekkel és az azokhoz tartozó β alaktényezők

II.2.1.2. A megengedett visszaduzzasztás mértéke 20 cm. Gyakorlati tapasztalatok alapján ez 15 cm-es rácshossz eltömődésénél alakul ki. A rács ilyen mértékű eltömődését kb. 2 cm vastagságú szemét réteg okozza. Az eltömődést okozó rácsszemét térfogata: $V = L \cdot 15 \text{ cm} \cdot 2 \text{ cm} = 0,003 \text{ m}^2 \cdot L [\text{m}]$. A csatornahálózaton érkező rácsszemét mennyisége a gyakorlati tapasztalatok alapján kommunális szennyvízre a 6. ábrán látható.



6. ábra: A rácsszemét fajlagos mennyisége a pálcaköz és az alkalmazott csatornarendszer függvényében.

II.2.1.3. Egy rács teljes szélessége: $L = 4 \text{ m}$, a bejövő szennyvíz csúcs térfogatárama: $Q = 300 \text{ m}^3/\text{h}$. Milyen ütemben szükséges a rács tisztítása, ha a szennyvíz egy elválasztott rendszerű csatornán érkezik? A pálcaköz: $k_p = 15 \text{ mm}$.

A rácsszemét térfogata egy teljes eltömődés esetén:

$$V = L \cdot 0,003 = 0,003 \text{ m}^2 \cdot 4 \text{ m} = 0,012 \text{ m}^3 = 12 \text{ dm}^3$$

$$V = 12 \text{ l}$$

A csatornahálózaton érkező rácsszemét mennyisége, ha V_{fsz} értéke a 6. táblázatból, $18 \text{ l}/100\text{m}^3$:

$$\dot{V}_{rsz} = V_{fsz} \cdot Q = \frac{18}{100} \cdot 300 \text{ m}^3 / \text{h} = 48 \text{ liter} / \text{h}$$

Az óránként szükséges ráctisztítások száma pedig:

$$n = \frac{\dot{V}_{rsz}}{V} = \frac{48 \text{ l} / \text{h}}{12 \text{ l}} = 4 \text{ alkalom}$$

II.2.1.4. Felszíni víz tisztításának első lépése, a kiemelt víz durva szilárd szennyezőinek leválasztása gravitációs dobszűrővel. Meghatározandó a szűrő szükséges felülete. Adatok: A kiemelt víz térfogatárama: $Q=125 \text{ m}^3/\text{h}$. A megengedett szűrési sebesség $v = 0,1 \text{ m/s}$. A bemerülés mértéke a vízbe $i = 25 \%$.

A szükséges szabad szűrőfelület:

$$A_{sz} = \frac{Q}{v_{sz}} = \frac{125 \text{ m}^3 / \text{h}}{0,1 \text{ m/s}} = \frac{0,035 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,1 \text{ m/s}}$$

$$A_{sz} = 0,35 \text{ m}^2$$

A szűrő szabad keresztmetszeti tényezője, azaz a felület hányad részén van szabad átáramlási lehetőség: $f = 0,3$ (a dobok jellemzőiként kell hogy szerepeljen az előállításnak megfelelően).

A dob teljes felület igénye ezáltal:

$$A_d = \frac{A_{sz}}{f} = \frac{0,35}{0,3} = 1,17 \text{ m}^2$$

A dob kihasználhatósága viszont csak 25 % (ennyi a bemerülés). Ennek következtében a ténylegesen szükséges dob felülete:

$$A_{td} = \frac{A_d}{i} = \frac{1,17}{0,25} = 4,67 \approx 5 \text{ m}^2$$

II.2.2. Ívszita kiválasztása

Bizonyos ipari szennyvizek tisztításánál rács helyett célszerűbb első tisztítási lépésként ívszítát alkalmazni. Ívszítát hidraulikus terhelése alapján a rendelkezésre álló prospektusból ki lehet választani. Az üzemből érkező szennyvíz térfogatárama: $40 \text{ m}^3/\text{h}$, az elválasztási szemcseméret 1 mm .

Résméret [mm]	Szítaszélesség, [mm]				
	230	610	1220	1520	1830
	Terhelés, [m^3/h]				
0,25	Speciális megoldásként				
0,5	10	30	60	75	90
0,75	11	35	70	87,5	105
1,0	15	40	85	108	130
1,5	17	60	110	137,5	165

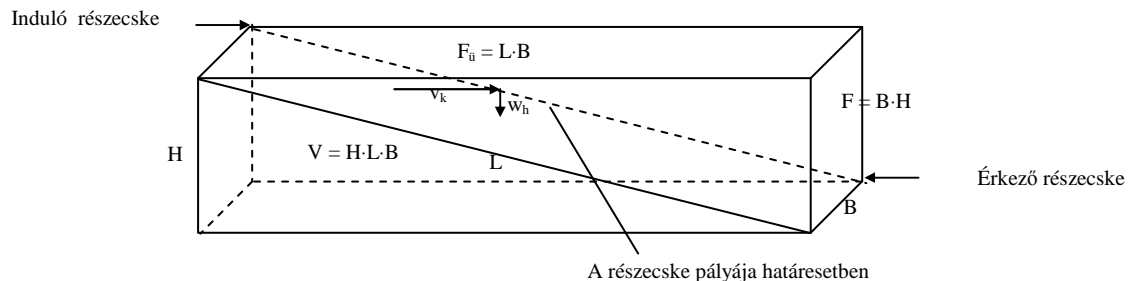
12. táblázat: Hydrasieve ívszita főbb paraméterei az elválasztási szemcseméret és a kezelendő szennyvíz térfogatárama függvényében.

Az adott jellemzők ismeretében az ábrából kiválasztható ívszita szélessége: 610 mm .

II.2.3. Hosszanti átfolyású homokfogó méretezési alapképletei

A homokfogó feladata, a szennyvízben levő ásványi anyagok, pl. homok leválassztása az ülepedési képesség által.

Az ülepítő sémája (7. ábra):



7. ábra: A hosszanti ülepítő elvi sémája

Lamináris áramlás (Hazen-féle koncepció)

$$\text{Átfolyási idő: } t_{sz} = \frac{V}{Q_v} = \frac{H \cdot L \cdot B}{H \cdot B \cdot v_k} = \frac{L}{v_k}$$

$$\text{Ülepedési idő: } t_{ii} = \frac{H}{w_h}$$

$$\text{A felületi terhelés: } T_f = \frac{Q_v}{F_{ii}} = w_h; k = \frac{v_k}{T_f} = 1$$

$$\text{Az ülepítő alapterülete: } F_{ii} = \frac{V}{H} = L \cdot B = \frac{Q_v}{w_h}$$

$$\text{Az ülepítő hossza: } L = \frac{v_k}{w_h} \cdot H = \frac{Q_v}{B \cdot w_h}$$

Turbulens áramlás (Hazen- és Dobbins-féle koncepció)

$$\text{Az ülepítő alapterülete: } F_{ii} = k \cdot \frac{Q_v}{w_h} = T_f; k = \frac{w_h}{T_f} > 1; T_f < w_h$$

$$\text{Az ülepítő hossza: } L = k \cdot \frac{Q_v}{B \cdot w_h} = \frac{Q_v}{B \cdot T_f}$$

Feltételek: az áramlás permanens; a sebességeloszlás egyenletes; az ülepedési sebesség állandó (szemcsés anyag)

II.2.3.1. Hosszanti átfolyású homokfogó méretezendő, Q_{cs} csúcshennyvízhozammal. Cél az x átmérőnél nagyobb méretű homokszemcsék szennyvízből való eltávolítása.

Kiindulási adatok:

$$Q_{cs} = 500 \text{ m}^3/\text{h}; x = 0,1 \text{ mm.}$$

Válasszunk két párhuzamos üzemű homokfogót. A számítást ennek megfelelően egy egységre vonatkozóan $Q_v = Q_{cs}/2 = 250 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0694 \text{ m}^3/\text{s}$ hidraulikai terhelésre végezzük el.

A kritikus szemcseméretre tartozó ülepedési határsebesség a 13. táblázat szerint $w_h = 6,7 \text{ mm/s} = 24 \text{ m/h}$. A homokfogó szükséges felülete lamináris áramlást feltételezve:

$$F_{ii} = \frac{Q_v}{w_h} = \frac{250}{24} = 10,42 \text{ m}^2$$

Tapasztalati adatok alapján a vízmélység $0,5 \text{ m}$ ebből $0,25 \text{ m}$ a homokgyűjtőtér mélysége. A homokfogó hasznos vízmélysége tehát $H = 0,25 \text{ m}$. Az átfolyási sebesség legyen $v = 0,3 \text{ m/s}$.

A homokfogó szélessége az adott hidraulikus terhelés mellett:

$$B = \frac{Q_v}{vH} = \frac{0,0694}{0,3 \cdot 0,25} = 0,92 \text{ m}$$

A homokfogó hasznos hosszúsága:

$$L = \frac{F_{ii}}{B} = \frac{10,42}{0,92} = 11,26 \text{ m,}$$

mely érték alapján 2 db 12 m hosszúságú homokfogó javasolható megvalósításra.

Anyag	Sűrűség [g/cm ³]	Ülepedési sebesség [mm/s]						
		Szemcseátmérő [mm]						
		<1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01	0,005
Kvarchomok	2,65	140	72	23	6,7	1,7	0,083	0,017
Szén	1,5	42	21	7,2	2,1	0,42	0,022	0,004
Házi szennyvíz lebegő anyagai	1,20	34	17	5	0,83	0,22	0,008	0,002

13. táblázat: Különböző eredetű szemcsék ülepedési sebessége statikus körülmények között 10 °C-ú szennyvízben (Fair)

II.2.3.2. Homokfogó méretezése Dobbins-Camp-féle módszerrel
Hosszanti átfolyású homokfogók hosszának meghatározása turbulens áramlás esetén.

Adatok:

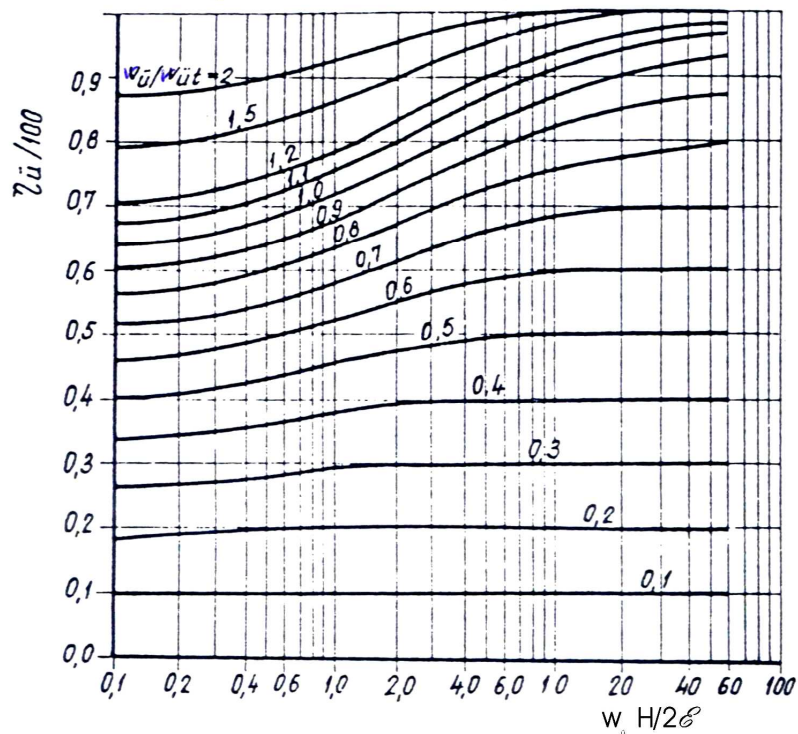
Átfolyási sebesség: $v = 0,3 \text{ m/s}$

Ülepedési sebesség lamináris áramlásnál: $w = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$

Az ülepítés kívánt hatásfoka: $\eta_{ii} = 90 \%$

A hasznos vízmélység: $H = 1,0 \text{ m}$ (tapasztalati adat)

A Dobbins – Camp-féle módszer szerint grafikus úton (8. ábra) meghatározható a turbulens hatásokat figyelembe vevő ülepedési sebesség.



8. ábra: Camp-féle diagram a turbulencia figyelembevételéhez vízszintes átfolyású ülepítők méretezésénél

Azaz:

$$\frac{w \cdot H}{2\varepsilon} = 122 \cdot \frac{w}{v}$$

Behelyettesítve:

$$\frac{w \cdot H}{2\varepsilon} = 122 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-2}}{0,3} = 8,13$$

Ehhez az értékhez a diagram alapján $\eta_{\bar{u}} = 90\%$ esetén:

$$\frac{w}{w_t} = 1,1$$

tartozik. Eből a turbulens hatásokat figyelembe vevő ülepedési sebesség:

$$w_t = \frac{w}{1,1} = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{1,1} = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

Ezek után a homokfogó hasznos hossza:

$$L = H \cdot \frac{v}{w_t} = 1,0 \cdot \frac{0,3}{0,018} = 16,7 \text{ m}$$

A keresztmetszet adott terhelés esetén az átfolyási sebesség ismeretében már számítható.

II.2.3.3. Homokfogó megengedhető hidraulikai terhelésének meghatározása

Adatok:

A homokfogó alapterülete (felülete): 40 m^2 .

A kiülepitett homokszemcse mérete: $x = 0,2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}$

A homok sűrűsége: 2650 kg/m^3

A víz sűrűsége: 1000 kg/m^3

A víz viszkozitása: $\eta = 1,3 \text{ cP} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ kg/ms}$

A Kármán-féle összefüggés alapján a közegellenállási tényező és a Reynolds-szám négyzetének szorzata:

$$c_w \cdot Re^2 = \frac{4 \cdot x_k^3 \cdot g(\rho_1 - \rho_k) \cdot \rho_k}{3 \cdot \eta^2}$$

azaz.

$$c_w \cdot Re^2 = \frac{4 \cdot 2^3 \cdot 10^{-12} \cdot 9,81(2650 - 1000) \cdot 1000}{3 \cdot 1,3^2 \cdot 10^{-6}}$$

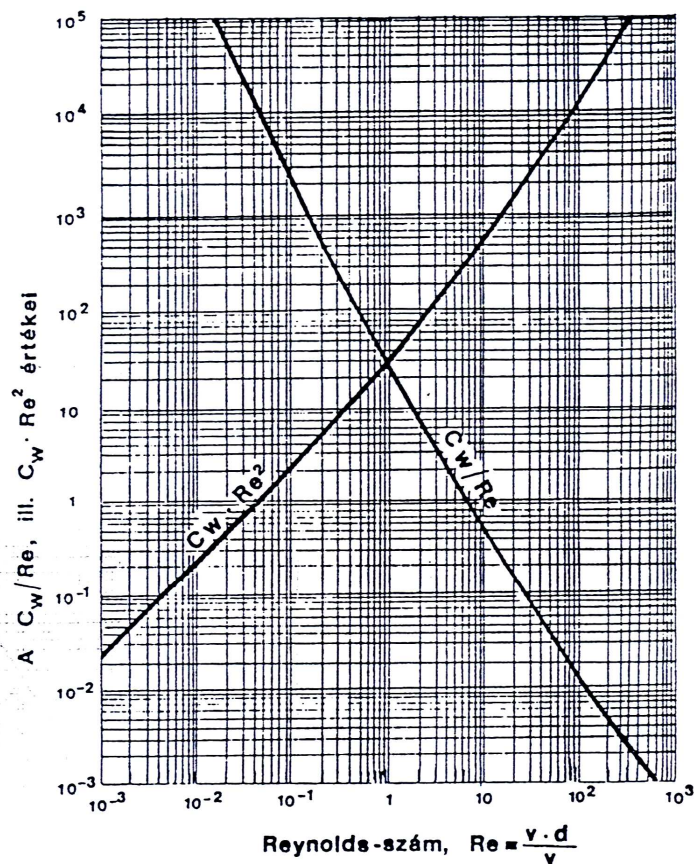
$$c_w \cdot Re^2 = 102 \approx 10^2$$

A Camp-féle diagramból (9. ábra) az ehhez tartozó Reynolds-szám: $Re \approx 3,2$, azaz az ülepedés átmeneti tartományban történik. (lamináris: $Re < 0,6$; átmeneti: $0,6 < Re < 50$)

Az ehhez tartozó ülepedési sebesség:

$$w = \frac{Re \cdot \nu}{x_k} = \frac{3,2 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-4} \cdot 10^3} = 2,08 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$(\nu = \eta / \rho_k)$$



9. ábra: A Camp-féle módosított közegellenállási tényező a Reynolds-szám függvényében

A Hazen-féle elv alapján az ülepedési sebesség egyenlő a felületi terheléssel, azaz:

$$w = T_f$$

Ennek ismeretében a homokfogó megengedett hidraulikai terhelése:

$$Q = F \cdot w \text{ azaz,}$$

$$Q = 40 \cdot 2,08 \cdot 10^{-2} = 0,832 \text{ m}^3/\text{s} \approx 3000 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ellenőrzés:

A tényleges Re:

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{2 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3}} = 3,2$$

A c_w közegellenállási tényező átmeneti tartományban (Allen-képlet):

$$c_w = 18,5/Re^{0,6} = 18,5/3,2^{0,6} = 9,21$$

Az ülepedési sebesség a Newton-féle összefüggésből:

$$w = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g \cdot x}{c_w} \cdot \frac{\rho_{sz} \cdot \rho_k}{\rho_k}} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{9,81 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{9,21} \cdot \frac{2650 \cdot 1000}{1000}} = 2,16 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

Ez az érték jó közelítéssel megegyezik az előzetesen számított $2,08 \cdot 10^{-2}$ m/s sebesség értékkel.

II.2.3.4. Légbefúvásos homokfogó méretezése Kalbskopf-segédletével

A kiindulási adatok segítségével meghatározandó a légbefúvásos homokfogó fő paraméterei, ha a légbefúvás üzemi jellemzői.

A mértékadó szennyvízhozam: $Q = 600 \text{ m}^3/\text{h} = 10 \text{ m}^3/\text{perc}$

Az átlagos tartózkodási idő: $t_t = 2,5$ perc

A homokfogószükséges térfogata:

$$V_H = Q \cdot t_t = 10 \text{ m}^3/\text{perc} \cdot 2,5 \text{ perc} = 25 \text{ m}^3$$

Előzetes mérések alapján az ülepitő várható hatásfoka 80 %, emiatt a tényleges medence térfogat:

$$V_t = \frac{V_H}{0,8} = 31,25 \text{ m}^3$$

a javasolt főbb paraméterek:

$H = 2,5$ m (mélység)

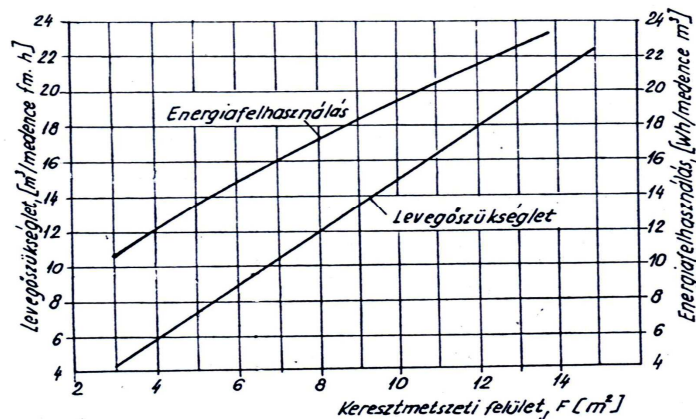
$B = 2,5$ (szélesség)

A keresztmetszeti szelvényt lekerekítve a tényleges keresztmetszet $F_t = 5 \text{ m}^2$. Ebből a medence tényleges hossza:

$$L = \frac{V_t}{F_t} = \frac{31,25}{5} = 6,25 \text{ m}$$

(A homokgyűjtő vályú a tényleges keresztmetszetben nincs benne!)

A légbefúvás üzemi jellemzői az alábbi grafikus ábra alapján (10. ábra) határozhatók meg:



10. ábra: Kalbskopf segédlet a légbefúvós homokfogó szükséges levegőhozamának és energiaigényének kalkulálásához.

Az $F = 5 \text{ m}^2$ hasznos keresztmetszetenél az összefüggés alapján a homokfogó 1 m-hez óránként $q_{lev} = 7,5 \text{ m}^3/\text{mh}$ szükséges.

$L = 6,25 \text{ m}$ hasznos ülepítői hosszra szükséges levegőmennyiség pedig:

$$Q_{lev} = 7,5 \cdot 6,25 = 46,87 \approx 47 \text{ m}^3\text{6h}$$

A várható energia felhasználás pedig a $13,5 \text{ Wh/m}^3$ fajlagos energia érték ismeretében (10. ábrából):

$$E = V_t \cdot 13,5 = 31,25 \cdot 13,5 = 421,9 \text{ Wh} \approx 0,5 \text{ kWh}$$

Befúvási mélység [m]	Homokfogáshoz szükséges minimális levegőhozam $[m^3/h \cdot m]$	Előlevegőztetés céljából befúvott maximális levegőhozam (a homokfogó akadályozása nélkül) $[m^3/h \cdot m]$
1,5	12,5 – 15,0	30
2,0	11,0 – 14,5	29
2,5	10,5 – 14,0	28
3,0	10,5 – 14,0	28
4,0	10,0 – 13,5	25

14. táblázat: Légbefúvós homokfogókhoz javasolt levegőhozamok (Hartmann)

Homokszemcse átmérője [mm]	Felületi terhelés [mm]			Homok ülepedési sebessége álló vízben [mm/s]
	A leülepedés (visszatartás) fokai			
	100 %	90 %	85 %	
0,125	1,0	1,7	2,2	8,6
0,16	1,6	2,6	3,3	13,5
0,20	3,0	4,8	5,9	19,0
0,25	5,5	8,2	10,0	25,5
0,315	8,8	12,3	14,7	35,0

15. táblázat: Kísérleti eredmények $1,5 \text{ m}^2$ -es keresztmetszetű légbefúvós homokfogóval (Kalbskopf)

A levegőigény meghatározható ill. felvehető a Hartmann kísérleteiből összeállított 14. táblázat segítségével, és Horváth Imre által kidolgozott eljárással. Ez utóbbi alapján végezve az előző feladat megoldását a következőket kapjuk:

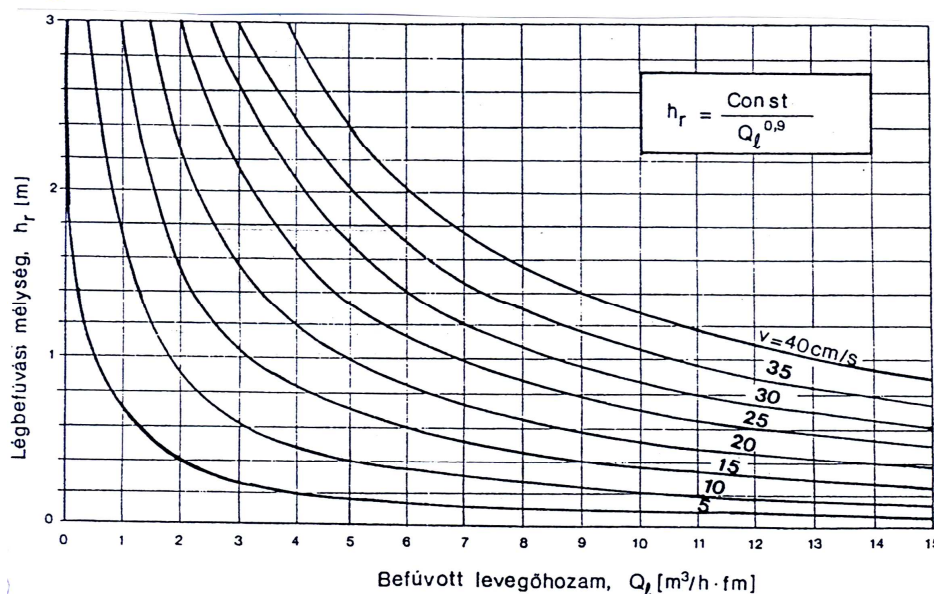
A kísérleti eredmények $D_k = 2,0$ m szelvényátmérőre vonatkoznak, amit a feladatnál figyelembe kell venni. Ugyanis a feladatban $D_t = 2,5$ m szelvényátmérőjű homokfogó szerepel:

Az átszámítás méretaránya:

$$\lambda = \frac{D_t}{D_k} = \frac{2,5}{2,0} = 1,25$$

A levegőhozamok átszámítási tényezője:

$$\lambda_{Q_t} = \frac{2 \cdot \lambda^{5/2}}{\lambda^{1/2} + 1} = \frac{2 \cdot 1,25^{5/2}}{1,25^{1/2} + 1} = 1,65$$



11. ábra: A befúvott levegő fajlagos mennyiségi értéke a befúvás helye és a fenéksebesség függvényében.

A $h_r = 1,6$ m légbefúvással számolva és $v = 30$ cm/s fenéksebességet feltételezve az 11. ábra szerint a légbefúvás fajlagos igénye: $q_{lev} = 5$ m³/m·h. A $L = 6,25$ m hosszúságú homokfogónál a teljes levegőhozam igény:

$$Q_{lev} = q_{lev} \cdot L = 5 \cdot 6,25 = 31,25 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ezt a levegőigényt $D = 2,5$ m-es szelvényű homokfogóra átszámítva:

$$Q_{tle} = Q_{lev} \cdot \lambda_{Q_{lev}} = 1,65 \cdot 31,25 = 51,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ezzel a módszerrel 10 %-kal nagyobb levegő igényhez jutunk. A különböző számítások esetén nem várható azonos eredmény, mert azok általában kísérletsorozatokon alapulnak, melyeket más-más feltételek mellett folytattak le.

A 15. táblázatban Kalbskopf 1,5 m² keresztmetszetű légbefúvós homokfogóhoz ajánl adatokat, az általa végzett kísérletek alapján.

II.2.3.5. Légbefúvásos homokfogó működésének ellenőrzése

Szennyvízhozam: $Q_{cs} = 4000 \text{ m}^3/\text{h} = 1,1 \text{ m}^3/\text{s}$

Párhuzamos üzemű műtárgyak fő méretei:

Hosszuk: $L = 25 \text{ m}$

Szélességük: $B = 2,5 \text{ m}$

Mélységük: $H = 2,5 \text{ m}$

A nedvesített keresztmetszet műtárgyanként: $F = 5,5 \text{ m}^2$

A homokfogó hasznos felülete:

$$F_h = 2 \cdot L \cdot B = 2 \cdot 25 \cdot 2,5 = 125 \text{ m}^2$$

A hasznos térfogata:

$$V_h = 2 \cdot F \cdot L = 2 \cdot 5,5 \cdot 25 = 275 \text{ m}^3$$

A felületi terhelés:

$$T_f = \frac{Q_{cs}}{F_h} = \frac{4000}{125} = 32 \text{ m/h} = 0,89 \text{ cm/s} = 8,9 \text{ mm/s}$$

Értékelés K. H. Kalbskopf kísérleti eredményei alapján:

Homokszemcse átmérője [mm]	Felületi terhelés [mm]			Homok ülepedési sebessége álló vízben [mm/s]
	A leülepedés (visszatartás) fokai			
	100 %	90 %	85 %	
0,125	1,0	1,7	2,2	8,6
0,16	1,6	2,6	3,3	13,5
0,20	3,0	4,8	5,9	19,0
0,25	5,5	8,2	10,0	25,5
0,315	8,8	12,3	4,7	35,0

**16. táblázat: Kalbskopf kísérleti eredményei légbefúvásos homokfogó esetén
(Keresztmetszet $1,5 \text{ m}^2$)**

Eszerint a számított terheléssel, a homokfogóval az $x = 0,315 \text{ mm}$ -es homokszemcsék 100 %-ban, az $x = 0,25 \text{ mm}$ -es homokszemcsék pedig 90 %-ban leválaszthatók.

A szennyvíz hosszirányú átfolyási középsebessége:

$$v_k = \frac{Q_{cs}}{F} = \frac{1,1}{11} = 0,1 \text{ m/s},$$

mely kisebb, mint a méretezéskor kiinduló értéknek alkalmazható érték, azaz $v_k < v_{kmax} = 0,15 - 0,2 \text{ m/s}$.

II.2.4. Hidrociklon számítások

A hidrociklon kedvező geometriai méretek és üzemi paraméterek mellett zagysűrítésre alkalmazható.

II.2.4.1. A hidrociklonba betáplált zagy homok-koncentrációja $c_i = 0,2 \text{ kg/dm}^3$, mely a ciklon segítségével egy sűrűbb és hígabb szuszpenzióvá alakul. Ezek homok koncentráció értékei: $c_a = 1,2 \text{ kg/dm}^3$ és $c_f = 0,05 \text{ g/dm}^3$. Meghatározandó a leválasztás mértéke, valamint a megoszlási arány.

A leválasztás mértéke: $\eta = \frac{M_a}{M_i}$,

ahol: $M = Q \cdot c$

azaz $\eta = \frac{Q_a \cdot c_a}{Q_i \cdot c_i}$

$$Q_i = Q_a + Q_f \quad \text{azaz: } M_i = M_a + M_f \quad \text{és} \quad \beta = \frac{Q_a}{Q_i}$$

Behelyettesítve:

$$Q_i \cdot c_i = Q_a \cdot c_a + Q_f \cdot c_f = Q_a \cdot c_a + (Q_i - Q_a) \cdot c_f$$

$$Q_i \cdot c_i = Q_a \cdot (c_a - c_f) + Q_i \cdot c_f$$

$$Q_i \cdot (c_i - c_f) = Q_a \cdot (c_a - c_f)$$

$$\frac{Q_a}{Q_i} = \frac{c_i - c_f}{c_a - c_f} = \beta$$

$$\eta = \beta \cdot \frac{c_a}{c_i} = \frac{c_i - c_f}{c_a - c_f} \cdot \frac{c_a}{c_i}$$

Számszerűen behelyettesítve:

$$\eta = \frac{0,2 - 0,05}{1,2 - 0,05} \cdot \frac{1,2}{0,2} = 0,783$$

azaz a leválasztás mértéke $\eta = 78,3 \%$

A megoszlási arány:

$$\alpha = \frac{Q_f}{Q_i}$$

Az előző levezetést figyelembe véve:

$$\alpha = 1 - \frac{Q_a}{Q_i} = 1 - \beta = \frac{c_a - c_i}{c_a - c_f},$$

melynek értéke behelyettesítés után:

$$\alpha = \frac{1,2 - 0,2}{1,2 - 0,05} = 0,87, \text{ azaz}$$

$$\alpha = 87 \%$$

Azaz a hidrociklon megoszlási aránya (a felső csonkon elmenő szuszpenzió arány) 87 %-os.

II.2.4.2. Határozzuk meg a hidrociklonba feladásra kerülő és a szétválasztás során nyert szuszpenziók (homok) sűrűségét, ha a homok sűrűsége $\rho_h = 2,65 \text{ kg/dm}^3$, a víz

sűrűsége $\rho_v = 1,0 \text{ kg/dm}^3$. A homok koncentrációja a különböző szuszpenziókban a következők:

A betáplált szuszpenzióban: $c_B = 0,3 \text{ kg/dm}^3$

Az alsó csonkon távozóban: $c_A = 1,3 \text{ kg/dm}^3$

Az örvénykereső csonkon elvett szuszpenzióban: $c_f = 0,05 \text{ kg/dm}^3$

A szuszpenziók sűrűsége a koncentráció függvényében:

$$\rho_z = c + \left(1 - \frac{c}{\rho_{szil.}}\right) \cdot \rho_v = \rho_v + c \frac{\rho_{szil.} - \rho_v}{\rho_{szil.}}$$

Behelyettesítve:

$$\rho_{ZB} = 1,0 + 0,3 \cdot \frac{2,65 - 1,0}{2,65} = 1,0 + 0,3 \cdot 0,623 = 1,187 \text{ kg / dm}^3$$

$$\rho_{ZA} = 1,0 + 1,3 \cdot 0,623 = 1,809 \text{ kg / dm}^3$$

és az örvénykeresővel leválasztott szuszpenzió sűrűsége pedig:

$$\rho_{Zf} = 1,0 + 0,05 \cdot 0,6 = 1,031 \text{ kg / dm}^3$$

II.2.4.3. Hidrociklon feldolgozó képességének meghatározása, azaz a hidrociklon és működtetésének paraméterei alapján a feladási térfogatáram meghatározása kísérleti tapasztalatok alapján:

$$\dot{Q} = K \cdot d_b \cdot d_f \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho_{ZB}}} \text{ [m}^3 \text{ / s]}, \text{ ahol}$$

K: konstans, hosszú, zagysűrítő ciklonoknál = 0,33...0,39

d_b : feladóső átmérő, m

d_f : örvénykeresőső átmérője, m

Δp : feladási nyomás [Pa]

ρ_{ZB} : feladott szuszpenzió sűrűsége kg/m^3

Adatok:

K = 0,33 (felvett érték)

$d_b = 0,01 \text{ m}$

$d_f = 0,02 \text{ m}$

$\Delta p = 2 \text{ bar} = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

$\rho_{ZB} = 1,17 \text{ kg/m}^3$

Behelyettesítve:

$$\dot{Q} = 0,33 \cdot 0,01 \cdot 0,02 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{1,17 \cdot 10^3}} = 6,6 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{1,709 \cdot 10^2} = 8,629 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ / s}$$

II.2.4.4. A hidrociklon felosztó képességének α_f meghatározása, amely a tapasztalatok alapján a két kifolyó csonk átmérőjének ismeretében jó közelítéssel számítható:

$$\alpha_f = \frac{\dot{V}_f}{\dot{V}_a} \approx 0,91 \cdot \left(\frac{d_f}{d_a}\right)^3$$

$d_f = 20 \text{ mm}$

$d_a = 12 \text{ mm}$

$$\alpha_f = 0,91 \cdot \left(\frac{20}{1}\right)^3 = 0,91 \cdot 4,63 = 4,21$$

Azaz $\dot{Q} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$ feladási szuszpenzió térfogatáramnál az örvénykeresőcsővel leválasztott rész térfogatárama:

$$\dot{V}_f = \frac{\dot{Q}}{1 + \alpha_f} = \frac{15}{1 + 4,21} = 2,88 \text{ m}^3 / \text{h}$$

és az alsó csonkon eltávozó szuszpenzió térfogatárama:

$$\dot{V}_a = \dot{Q} - \dot{V}_f = 15 - 2,88 = 12,12 \text{ m}^3 / \text{h}$$

II.2.4.5. A hidrociklonra feladott szuszpenzió sűrűsége és viszkozitásának számítása:

Sűrűség: $\rho_{szuszp} = \rho_{szil} \cdot c_v + \rho_{folyadék} (1 - c_v)$, ahol

c_v : a szuszpenzió térfogati koncentrációja, mely a bemeneti áram, szilárdanyag és a folyadék (víz) sűrűsége alapján számítható:

$$c_v = \frac{\rho_{szuszp} - \rho_{folyadék}}{\rho_{szilárd} - \rho_{folyadék}}$$

Adatok:

$$\rho_{szilárd} = 2200 \text{ kg/dm}^3$$

$$\rho_{víz} = 1000 \text{ kg/dm}^3$$

$$c_v = 5 \%$$

$$\rho_{szuszp} = 2200 \cdot 0,05 + 1000 \cdot 0,95 = 1060 \text{ kg/m}^3$$

Viszkozitás: közelítő, tapasztalati számítása:

$$\eta_{szuszp} = \eta_{folyadék} \left(1 + \frac{1,25 \cdot c_v}{1 - \frac{c_v}{c_{v \max}}} \right)^2$$

A $c_{v \max}$ értéke 0,63 és 0,84 között változik, és ennek felvétele az adott intervallumon belül csak nagyon minimális mértékben befolyásolja az η_{szuszp} értékét.

$$\eta_{folyadék} = 10^{-3} \text{ Pas}$$

$$c_v = 0,05$$

$$c_{v \max} = 0,63$$

Behelyettesítve:

$$\eta_{szuszp} = 10^{-3} \left(1 + \frac{1,25 \cdot 0,05}{1 - \frac{0,05}{0,63}} \right)^2 = 10^{-3} \cdot 1,14 \text{ Pas} = 1,14 \text{ mPas}$$

II.2.4.6. Az elválasztási szemcseméret tapasztalati számítása:

$$x_T = K \cdot \sqrt{\frac{\eta_{szuszp}}{\rho_{szil} - \rho_{foly}}} \cdot \frac{\sqrt{D}}{\sqrt[4]{\frac{\Delta p}{\rho_{szuszp}}}} \cdot \sqrt{\frac{\ln \frac{\dot{V}_f}{\dot{V}_a}}{(1 - c_v)^{4,65}}}, \text{ ahol}$$

K: konstans (a ciklontípus befolyásolja), értéke 0,12 körül van

D: hidrociklonátmérő

Adatok:

$$\rho_{szuszp} = 1060 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{szil} = 2200 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{foly} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$D = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$$

$$\Delta p = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$\eta_{szuszp} = 1,14 \text{ mPas}$$

$$\frac{\dot{V}_f}{\dot{V}_a} = 4,21$$

$$c_v = 0,05$$

Behelyettesítve:

$$x_T = 0,12 \cdot \sqrt{\frac{1,14 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 10^3}} \cdot \frac{\sqrt{0,1}}{\sqrt[4]{\frac{2 \cdot 10^5}{1060}}} \cdot \sqrt{\frac{\ln 4,21}{(1 - 0,05)^{4,65}}} = 0,12 \cdot 0,975 \cdot 10^{-3} \cdot 0,085 \cdot 1,3508 =$$

$$= 0,0134 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 13,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

A várható elválasztási szemcseméret tehát 13,4 μm .

II.2.5. A kis szemcseméretű szilárdanyag leválasztására az ülepitők, szűrők, centrifugák alkalmasak, mint fázisszétválasztó berendezések

Ülepítéssel, zagysűrítéssel kapcsolatos feladatok.

Az említett műtárgyakban statikus vagy nagyon kis áramlási sebesség mellett történik meg a fázisszétválasztás.

Az ülepitésnél fontos szerepet játszik a szuszpenzióban levő szilárdanyag gravitáció hatására létrejövő ülepedési sebessége, valamint az ülepitők típusai, méretei, valamint a szuszpenzió áramlási sebessége.

Szennyvizek esetén ülepités szempontjából két féle szilárdanyagot különböztetünk meg:

- Szemcsés anyag, mely külön, egy szemcséként ülepedik
- Flokkulálódó szemcsék, melyek meghatározhatatlan méretben ülepednek

II.2.5.1. Szemcsék ülepedési sebességének meghatározása

Lamináris áramlást figyelembevéve a gömb formájú egyedi szemcsék ülepedési sebessége Stokes-törvénye szerint:

$$w_{ü} = \frac{\Delta\rho \cdot g \cdot x^2}{18\eta}$$

Adatok:

$$x = 15 \mu\text{m} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$\rho_{\text{szil}} = 2710 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{foly}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta = 10^{-3} \text{ Pas}$$

$$w_{ü} = \frac{(1,5 \cdot 10^{-5})^2 \cdot 1,71 \cdot 10^3 \cdot 9,8}{18 \cdot 10^{-3}} = \frac{2,25 \cdot 10^{-10} \cdot 16,775 \cdot 10^3}{18 \cdot 10^{-3}} = 2,097 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} = 0,755 \text{ m/h}$$

Amennyiben az ülepitendő szemcsék nem gömb alakúak, az ülepedési sebességet egy alakfaktorral kell beszorozni. Az alakfaktorok értékei a tapasztalatok szerint:

- gömb alaknál $\varphi = 1$
- lekerekített szemcsénél $\varphi = 0,8$
- sarkas szemcséknél $\varphi = 0,7$
- hosszúkás szemcsénél $\varphi = 0,6$
- lapkás szemcsénél $\varphi = 0,4 \dots 0,5$

Azaz:

$$w_{\text{üp}} = w_{\text{ü}} \cdot \varphi$$

$\varphi = 0,8$; az ülepitendő szemcse „kocka” alakú:

$$w_{\text{üp}} = 0,755 \cdot 0,8 = 0,604 \text{ m/h}$$

A szemcsék ülepedési sebességét a szuszpenzióban kb. 5 % szilárdanyag koncentrációja felett egy koncentráció faktorral kell figyelembe venni. Ennek értéke 5 – 10 %-os szilárdanyag koncentrációnál $k = 0,5 \dots 0,6$. Ezáltal az ülepedési sebesség:

$$w_{\text{üt}} = w_{\text{ü}} \cdot \varphi \cdot k$$

$k = 0,6$ -nál az előző adatokkal az ülepedési sebesség $15 \mu\text{m}$ -es szemcseméretnél:

$$w_{\text{üt}} = 0,755 \cdot 0,8 \cdot 0,6 = 0,362 \text{ m/h}$$

Turbulens áramlásnál, a Newton-tartományban ($10^3 \leq Re \leq 2 \cdot 10^5$) az ülepedési sebesség az alábbi összefüggéssel számítható.

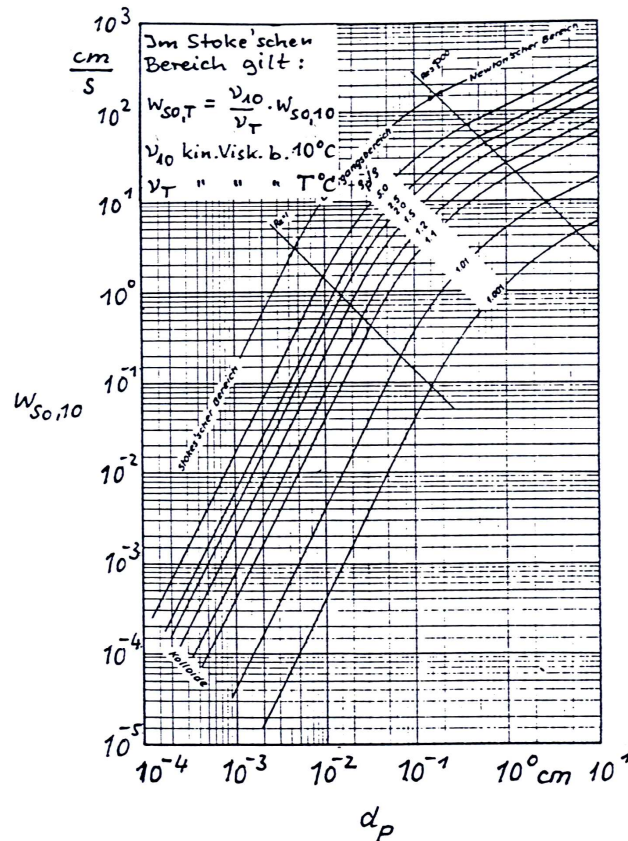
$$w_{im} = 1,74 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{szil} - \rho_{foly}}{\rho_{foly}} \cdot g \cdot x}$$

Behelyettesítve az előzetesen megadott adatokat, a turbulens áramlásnál az ülepedési sebesség:

$$w_{im} = 1,74 \cdot \sqrt{\frac{2710 - 1000}{1000} \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cdot 10^{-5}} = 1,74 \cdot \sqrt{1,71 \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cdot 10^{-5}} = 1,74 \cdot \sqrt{2,52 \cdot 10^{-4}} = 1,74 \cdot 0,0159 = 0,028 \text{ m/s}$$

II.2.5.2. Gömb formájú szemcsés anyag ülepedési sebessége Stokes-tartományban

A gömb alakú szemcsék ülepedési sebessége a 12. ábra alapján is meghatározható.



12. ábra: Gömb alakú szemcse ülepedési sebessége 10 °C-nál vízben

(Más hőmérsékleten, más fluidumban az ülepedési sebesség természetesen eltér a 12. ábrán feltüntetett értékektől!)

Adatok:

homokszemcse sűrűsége: $\rho_p = 2,5 \text{ g/cm}^3$

víz sűrűsége $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$

Milyen maximális szemcseméretnél van még lamináris áramlás?

$$\frac{\rho_p}{\rho_k} = \frac{2,5}{1} = 2,5, \text{Re}_{\max} = 1$$

Az 12. ábrából a ρ_p/ρ és az $\text{Re} = 1$ vonalak metszéspontjából leolvasható, hogy a homokszemcse maximális mérete $x_{\max} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ cm} = 130 \text{ }\mu\text{m}$, és az ehhez tartozó ülepedési sebesség:

$$w_{S_0} = w_{\ddot{u}} = 1 \text{ cm/s.}$$

II.2.5.3. Pelyhesedő anyagok ülepedési sebessége

Ezen anyagokra jellemző, hogy az ülepedés során az ülepedési sebesség a pelyhesedés (flokkuláció) előrehaladtával nő. Így azok ülepedési tulajdonságai csak kísérletekkel határozhatók meg.

A kísérlet során az idő és mélység függvényében meg kell határozni a meghatározott mélységekben (ülepítőhengerben) a kiülepítendő anyag koncentrációját. Ez ábrázolható és a kapott görbék adott pontjához húzott érintő iránytangense adja az adott pillanathoz tartozó ülepedési sebességet. Több pontra meghatározva a pelyhesedő anyagra meghatározható az ülepedési sebesség-görbe, és számítható egy átlagos ülepedési sebesség.

A laboratóriumi kísérleteket ülepítőhengerben végzik, melyre a kis átmérő jellemző. Emiatt az ülepítőhenger falhatása csökkenti az ülepedési sebességet.

Adatok:

$x = 2 \text{ mm}$ (ülepítendő pelyhek átmérője)

$D_h = 50 \text{ mm}$ (ülepítőhenger átmérője)

Számított ülepedési sebesség Newton-szerint: $w_N = 1 \text{ cm/s}$

Landenburg és Faxén kutatásai szerint:

$$\frac{w_c}{w_N} = \frac{1}{1 + 2,1 \left(\frac{x}{D_h} \right)},$$

ahol w_c : a falhatás következtében előálló ülepedési sebesség.

Az egyenletből akármelyik ismeretlen ülepedési sebesség számítható.

Jelen esetben:

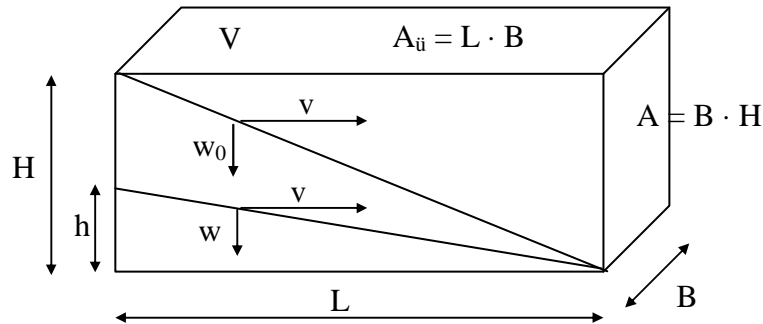
$$w_c = \frac{w_N}{1 + 2,1 \left(\frac{x}{D_h} \right)} = \frac{10^{-2}}{1 + 2,1 \left(\frac{2}{50} \right)} = 0,92 \cdot 10^{-2} \text{ m/s},$$

azaz a kiírásban szereplő szilárdanyag mérőhengerben mért ülepedési sebessége várhatóan $0,92 \text{ cm/s}$, a számított 1 cm/s helyett.

II.2.5.4. Hosszanti átfolyású ülepitő méretezése

A szemcsés anyagok ülepitéssel történő leválasztása Hazen-elv alapján lehetséges.

Hazen-elv: $T_f = \frac{Q}{A_{\ddot{u}}} = w_0$



13. ábra: Egy hosszanti ülepitő fő paramétereit

(1) $\frac{w_0}{v} = \frac{H}{L} \longrightarrow v = w_0 \frac{L}{H}$

$\frac{w}{v} = \frac{h}{L} \longrightarrow v = w \frac{L}{h}$

(2) $\frac{w}{w_0} = \frac{h}{H}$

h/H-nak megfelelő frakció w sebességgel kiülepithető.

Feltételek:

- lamináris áramlás
- egyenletes sebességeloszlás (v = const.)
- az ülepedési sebesség időben állandó

Szemcsés anyagok ülepitésénél elsősorban a felületi terhelés, a kiskoncentrációjú pelyhesedő anyagoknál a tartózkodási idő, míg sűrítésnél a szükséges fajlagos felület a méretezés alapadata.

II.2.5.5. Egy hosszanti ülepitőre $Q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ szennyvíz érkezik. Az ülepitő mélysége $H = 0,7 \text{ m}$, és a szükséges tartózkodási idő $t = 3,5 \text{ h}$.

A mértékadó ülepedési sebesség:

$$w_{\ddot{u}} = \frac{H}{t_i} = \frac{0,7}{3,5} = 0,2 \text{ m/h}$$

A Hazen-elv szerint a megengedhető felületi terhelés T_f :

$$T_f = w_{\ddot{u}} = \frac{Q}{A} = 0,2 \text{ m/h}$$

Ebből az összefüggésből számítható az ülepitő felülete:

$$A = \frac{\dot{Q}}{w_{\ddot{u}}} = \frac{\dot{Q}}{T_f} = \frac{60}{0,2} = 300 \text{ m}^2$$

Az ülepítő hasznos térfogata:

$$V_h = \dot{Q} \cdot t_t = 60 \cdot 3,5 = 210 \text{ m}^3$$

Két párhuzamos ülepítőt alkalmazva, az ülepítő medence szélességét $B = 6,0$ m-re választva a medencék szükséges hossz mérete, ha egyenként felületük $A_1 = A_2 = 150 \text{ m}^2$.

$$L = \frac{A_1}{B} = \frac{150}{6} = 25 \text{ m}$$

illetve:

$$L = H \cdot \frac{v}{w} = H \cdot \frac{A}{w} = H \cdot \frac{Q}{H \cdot B \cdot w} = \frac{Q}{B \cdot w}$$

$$L_1 = \frac{Q_1}{B \cdot w} = \frac{60/2}{6 \cdot 0,2} = \frac{30}{1,2} = 25 \text{ m}$$

II.2.5.6. Meghatározandó az előülepítő fő méretei az alábbi adatok alapján:

$$\dot{Q} = 0,35 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$t_t = 1,5 \text{ h}$$

$$w_{\ddot{u}} = 0,4 \text{ mm/s}$$

$$w_{\ddot{u}} = \frac{\dot{Q}}{A_{\ddot{u}}} = T_f \Rightarrow A_{\ddot{u}} = \frac{\dot{Q}}{T_f} = \frac{\dot{Q}}{w_{\ddot{u}}}$$

Behelyettesítve az ülepítő felületre kapjuk:

$$A_{\ddot{u}} = \frac{0,35}{0,4 \cdot 10^{-3}} = 875 \text{ m}^2$$

A szükséges tartózkodási idő felírható az alábbi képlettel:

$$t_t = \frac{V_{\ddot{u}}}{\dot{Q}} = \frac{A_{\ddot{u}} \cdot H}{\dot{Q}} \Rightarrow H = \frac{t_t \cdot \dot{Q}}{A_{\ddot{u}}}$$

$$H = \frac{1,5 \cdot 0,35}{875} = \frac{1,5 \cdot 3600 \cdot 0,35}{875} = 2,16 \text{ m}$$

Az ülepítő térfogata:

$$V_{\ddot{u}} = A_{\ddot{u}} \cdot H = 875 \cdot 2,16 = 1890 \text{ m}^3$$

ill.

$$V_{\ddot{u}} = t_t \cdot \dot{Q} = 1,5 \cdot 3600 \cdot 0,35 = 1890 \text{ m}^3$$

A geometriai méretek meghatározásánál figyelembe veendő arányok:

$$\frac{L}{B} \approx 4 \text{ ill. } \frac{L}{H} \approx 12$$

A B szélességmérték megválasztásánál az alkalmazható kotró méretét figyelembe kell venni. Ez esetben célszerű 3 db ülepítőt tervezni az alábbi hasznos geometriai méretekkel:

$$A_{u1} = \frac{A_{\ddot{u}}}{3} = \frac{875}{3} = 291,66 \approx 300 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{ül}} = L \cdot B = 4B^2 \Rightarrow B = 8,66 \approx 9 \text{ m és } L = \frac{300}{9} = 33,33 \text{ m}$$

II.2.5.7. Ülepítő paramétereinek meghatározása a tartózkodási idő segítségével

Adatok: Az ülepítőre érkező tisztítandó víz mennyisége $\dot{Q} = 480 \text{ m}^3/\text{h}$. Előkísérletek alapján a szükséges tartózkodási (átfolyási) idő: $t_t = 60 \text{ perc} = 1 \text{ h}$.

Egyébként tapasztalatok alapján a szükséges átfolyási idők elő-, ill. utóülepítőknél, hosszanti ill. kör alakú ülepítőnél az alábbiak (17. táblázat):

	Számított átfolyási idő, [h]			
	Előülepítés		Utóülepítés	
	Hosszanti átfolyású	Kör alakú	Hosszanti átfolyású	Kör alakú
	Medence esetében			
Csak mechanikai tisztítás esetében	1,7	1,7 – 2,5	-	-
Vegyszeres pelyhesítés esetében	0,5	0,5 – 0,8	1,5	1,5 – 2,0
Csepegtetőtestek esetében	1,5	1,5 – 2,3	1,5	1,5 – 2,0
Eleveniszapos szennyvíztisztítás esetében	0,5	0,5 – 0,8	1,7	1,7 – 2,7

17. táblázat: Ajánlott számított átfolyási idők (Pallasch, Triebel)

Az ülepítő térfogata:

$$V = Q \cdot t_t = 480 \cdot 1 = 480 \text{ m}^3$$

Hosszanti ülepítő alkalmazásakor célszerű két párhuzamos ülepítőt üzemeltetni, azaz $V = V_1 + V_2$

$$V_1 = V_2 = 240 \text{ m}^3$$

Az ülepítőknél a vízmélység $H = 1,5 \text{ m}$ -re felvéve az ülepítő felülete:

$$A = \frac{V_1}{H} = \frac{240}{1,5} = 160 \text{ m}^2 = B \cdot L, \text{ ahol}$$

B: az ülepítő szélessége

L: az ülepítő hossza

A B-értéke 6 m-re felvéve $B = 6 \text{ m}$, az L értéke meghatározható:

$$A = B \cdot L$$

$$160 = 6 \cdot L \Rightarrow L = \frac{160}{6} = 26,67 \text{ m} \approx 27 \text{ m}$$

Ez a hossz a tényleges ülepítési hossz, ehhez a feladás miatt még figyelembe kell venni egy rövid szakaszt (a turbulens áramlás megszűnéséig) a teljes ülepítő hossz meghatározásánál.

Kör alakú ülepítőnél két ülepítőt alkalmazva az ülepítő átmérője:

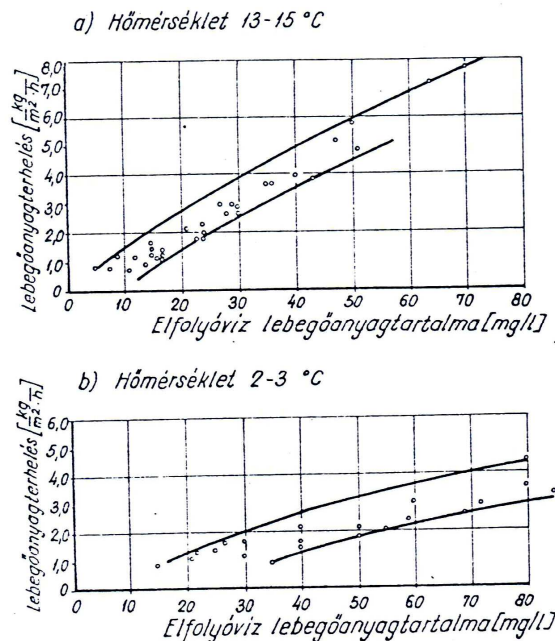
$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 240}{\pi}} = 17,48 \text{ m} \approx 18 \text{ m}$$

A mélysége pedig 1,5 m.

II.2.5.8. Ülepítő paramétereinek meghatározása kommunális szennyvíztisztításnál

Az utóülepítőbe bemenő szennyvíz mennyisége: $\dot{Q} = 480 \text{ m}^3 / \text{h}$, a szilárdanyag tartalma $c_0 = 3 \text{ g/l}$, míg az elmenő víz maximális lebegőanyag tartalma 20 mg/l . A víz átlagos hőmérséklete $15 \text{ }^\circ\text{C}$.



14. ábra: Hosszanti átfolyású ülepítő felületi lebegőanyag terhelése és az ülepített szennyvíz lebegőanyag tartalmának kapcsolata (Pflanz)

A mellékelt ábrák alapján 20 mg/l elfolyóvíz lebegőanyag tartalom esetén az ülepítő lebegőanyag terhelése $T_{\text{leb.a.}} = 2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ lehet.

Az adat segítségével számítható a megengedett felületi terhelés:

$$T_f = \frac{T_{\text{leb.a.}}}{c_0} = \frac{2}{3} = 0,6667 \text{ m} / \text{h}$$

Ennek segítségével a szükséges ülepítő felület:

$$F_{\text{ü}} = \frac{\dot{Q}}{T_f} = \frac{480}{0,6667} = 720 \text{ m}^2$$

Ha egy kör keresztmetszetű ülepítőt alkalmazunk, annak átmérője:

$$D = \sqrt{\frac{4F_{\text{ü}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 720}{\pi}} = 30,3 \text{ m}$$

$D \approx 31 \text{ m}$

De választhatunk két hosszanti ülepítőt is, egyenként 360 m^2 felülettel.

Ha az ülepítő mélysége $H = 1,5 \text{ m}$, az ülepítő hasznos térfogata:

$$V = F_{\text{ü}} \cdot H = 720 \cdot 1,5 = 1080 \text{ m}^3$$

és a tartózkodási idő:

$$t = \frac{V}{\dot{Q}} = \frac{1080}{480} = 2,25 \text{ h}$$

Ez a tartózkodási idő a 17. táblázat alapján a tapasztalati adatoknak megfelel.

II.2.5.9. Tapasztalati adatok alapján történő ülepitő méretezés

Pelyhes anyagok kiülepitésénél az átfolyási sebességnek nem célszerű túllépni a $v = 1 \text{ cm/s}$ értéket, javasolt értéke: 3-6 mm/s. $Q = 480 \text{ m}^3 / \text{h}$ szennyvízhozam esetén a szükséges függőleges keresztmetszet:

$$A = \frac{Q}{v} \text{ képlet alapján}$$

$v = 5 \text{ mm/s}$ -ra felvéve:

$$A = \frac{480 \text{ m}^3 / \text{h}}{5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}} = \frac{0,13333 \text{ m}^3 / \text{h}}{5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}} = 26,67 \text{ m}^2 \approx 26,7 \text{ m}^2$$

Két ülepitőt feltételezve a folyadékáramlásra merőleges, függőleges keresztmetszet:

$$A = B \cdot H$$

Képpellett, $H = 1,5 \text{ m}$ vízmélységet felvéve:

$$A_1 = B \cdot H$$

$$B = \frac{A_1}{H} = \frac{A/2}{H} = \frac{26,7/2}{1,5} = 8,89 \text{ m} \approx 9 \text{ m}$$

Szakirodalmak szerint a peltyhes anyagoknál $w_{ii}^u = 0,45 \text{ mm/s}$ ülepedési sebességgel számolhatunk 50-250 mg/l-es szilárdanyag tartalom esetén. Ezt az adatot felhasználva az ülepitők hossza az

$$\frac{L}{K} = \frac{v}{w_{ii}^u} \text{ képletből számítható.}$$

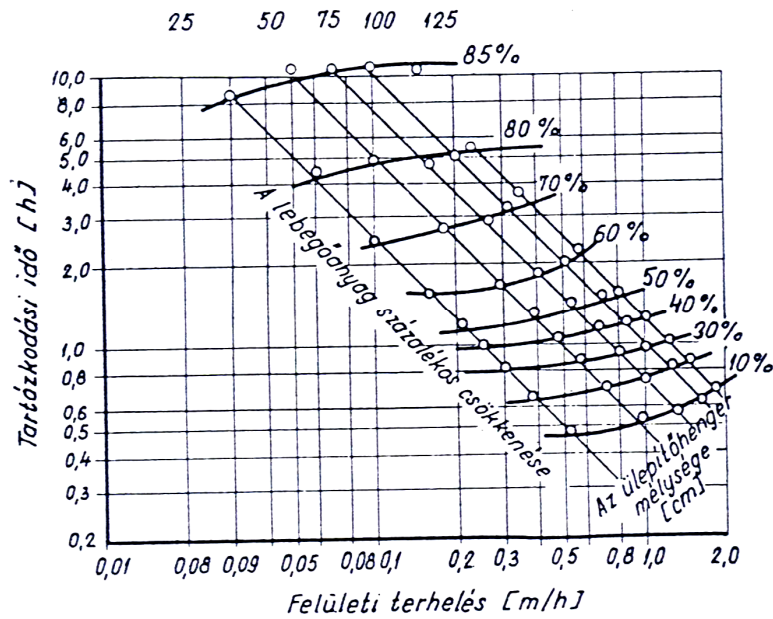
$$L = \frac{H \cdot v}{w_{ii}^u} = \frac{1,5 \text{ m} \cdot 5 \text{ mm/s}}{0,45 \text{ mm/s}} = 16,7 \text{ m}$$

Azaz a tényleges ülepitő hossz kb. 18 m.

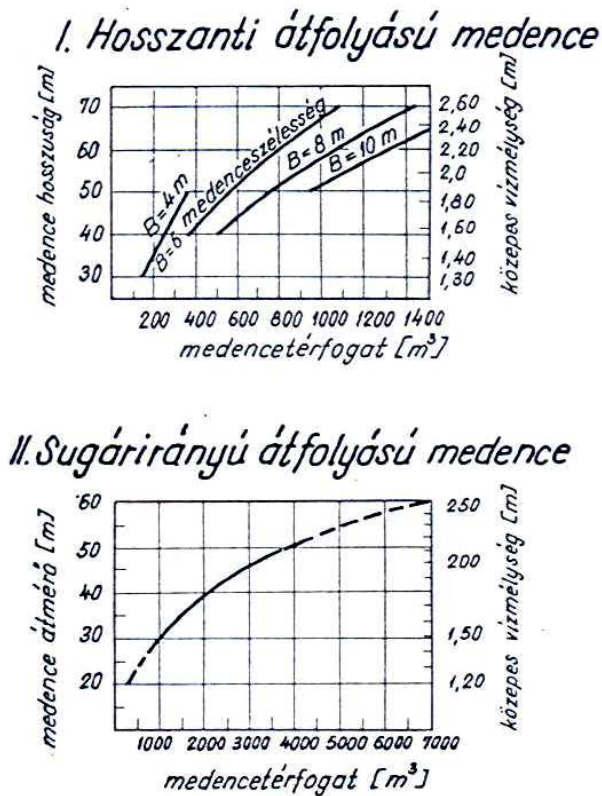
Néhány segédlet (táblázat, ábra) az ülepitők tervezéséhez:

Tisztító rendszer	Számított átfolyási idő, [h]				
	Előülepités		Utőülepités		
	Hosszanti átfolyású	Kör alakú	Hosszanti átfolyású	Kör alakú	Dortmund i
	Medence esetében				
Csak mechanikai tisztítás esetében	1,3	1,3 – 0,8	-	-	-
Vegyszeres peltyhesítés esetében	4,0	4,0 – 2,5	1,5	1,5 – 1,0	1,5
Csepegtetőtestek esetében	1,3	1,3 – 0,8	1,5	1,5 – 1,0	1,5
Eleveniszapos szennyvíztisztítás esetében	4,0	4,0 – 2,5		1,2 – 0,7	1,2

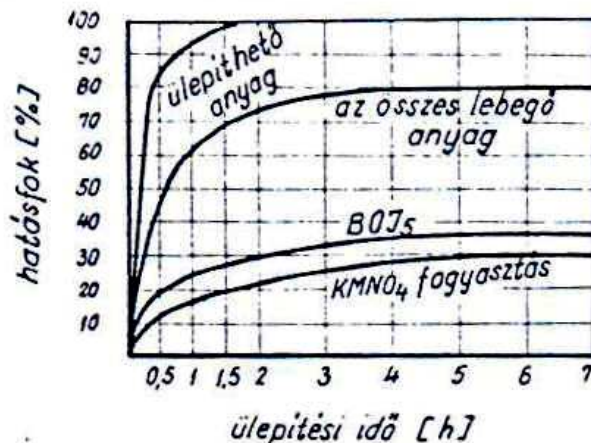
18. táblázat: Ajánlott (max) felületi terhelések irányértékei különböző típusú elő- és utőülepitők esetén (Pallasch, Triebel)



15. ábra: Az üleptési hatások a tartózkodási idő és a felületi terhelés függvényében



16. ábra: Összefüggés az üleptők főbb geometriai paramétereinek között



17. ábra: A tartózkodási idő hatása városi szennyvíz ülepítési hatásfokára (Sierp)

II.2.5.10. Hosszanti átfolyású ülepítő számítása ideális feltételek mellett

Stokes-féle törvény érvényessége mellett határozzuk meg azt az x szemcseátmérőt, amely megfelelő körülmények mellett 100 % hatásfokkal kiülepíthető, illetve az $x/2$ méretű részecskék hány százaléka ülepihető ki?

A hosszanti átfolyású ülepítő hasznos felülete $A_{ii} = 10 \text{ m}^2$. A hidraulikai terhelés $Q = 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$. A szennyvíz sűrűsége $\rho_f = 1000 \text{ kg/m}^3$; az ülepedő részecskék sűrűsége $\rho_{szil} = 2650 \text{ kg/m}^3$. Az áramló közeg kinematikai viszkozitása: $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Megoldás:

Számítható a w_0 ülepedési sebesség a Hazen-féle elv alapján:

$$w_0 = \frac{Q}{A_{ii}} = \frac{0,05}{10} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Kiindulási feltétel szerint érvényes a Stokes-féle törvény, amiből a kérdéses szemcseátméő kifejezhető:

$$x_0 = \sqrt{\frac{18w_0}{g} \frac{\rho_t}{\rho_{v\acute{z}} - \rho_f}}$$

Behelyettesítéssel kapjuk:

$$x_0 = \sqrt{\frac{18 \cdot 1,31 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{9,81} \frac{1000}{2650 - 1000}} = 8,5 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,085 \text{ mm}$$

Azaz $x_0 \geq 0,085 \text{ mm}$ méretű részecskék kiülepítési hatásfoka 100 %.

Az $x < x_0$ méretű szilárdanyag, mely ülepedési sebességgel jellemezhető, egy meghatározott százaléka is kiülepihető az adott feltételek mellett.

Az ülepiítés hatékonyságát szemcsés anyagok esetében az

$$\eta_{ii} = \frac{h}{H} = \frac{w}{w_{100}} = \frac{w}{T_f} \text{ képlettel számíthatjuk az ülepiítőknél.}$$

Példánk esetében a fentiek szerint számított x átméőből adódó $x/2 = 4,25 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,0425 \text{ mm}$ szemcseméretű részecskéket kell alapul venni. (Természetesen más méretű részecskékre is elvégezhető a számítás)

A Stokes-törvény szerint az $x/2$ méretű szemcsék ülepedési sebessége:

$$w = \frac{9,81 \cdot (4,25 \cdot 10^{-5})^2}{18 \cdot 1,31 \cdot 10^{-6}} \frac{2650 - 1000}{1000} = \frac{177,19 \cdot 10^{-10}}{23,58 \cdot 10^{-6}} \cdot 1,65 = 12,4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

Végül a kérdéses részarány:

$$\eta_{ii} = \frac{h}{H} = \frac{w}{w_0} = \frac{12,4 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-3}} = 0,248 \approx 0,25$$

Tehát az adott feltételek mellett a 0,0425 mm átmérőjű részecskék 25 %-a választható le az ülepitéssel az adott feltételek mellett.

II.2.5.11. Határozzuk meg a lemezes ülepitő fontosabb paramétereit

A lemezes ülepitők alkalmazásával csökkenthető az ülepitendő szilárdanyag szükséges ülepedési úthossza, ennek következtében pedig a szükséges ülepitő hossza.

Adatok:

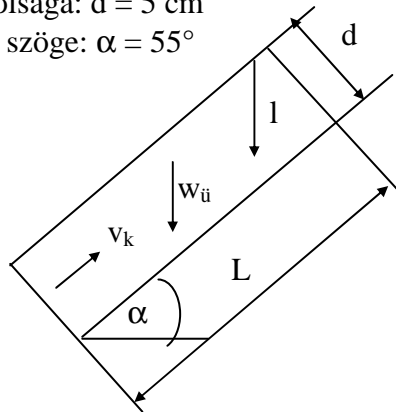
Szennyvízhozam: $Q = 20 \text{ m}^3/\text{h}$

Hasznos átfolyási keresztmetszet: $F = 1 \text{ m}^2$

Lemezköteg hasznos hossza: $L = 3 \text{ m}$

Lemezek egymástól való távolsága: $d = 5 \text{ cm}$

Lemezek vízszintessel bezárt szöge: $\alpha = 55^\circ$



18. ábra: A lemezes ülepitő sémája, főbb paraméterek

v_k : átfolyási közép (átlag) sebesség: $v_k = \frac{Q}{F}$

t_t : átfolyási idő, számított tartózkodási idő $t_t = \frac{L}{v_k}$

l : a maximális ülepedési idő: $l = \frac{d}{\cos \alpha}$

t_{ii} : ülepedési idő $t_{ii} = \frac{l}{w_{ii}} = \frac{d}{w_{ii} \cdot \cos \alpha}$

Szükséges feltétel:

$t_t = t_{ii}$, azaz

$$\frac{L}{v_k} = \frac{d}{w_{ii} \cdot \cos \alpha}$$

ill.

$$\frac{L}{d} = \frac{v_k}{w_{ii} \cos \alpha}$$

A képletekből adatok ismeretében a szükséges paraméter számítható.

A megadott adatokat figyelembe véve a leremes ülepítőben az ülepedési paraméterek a következők:

Átfolyási sebesség:

$$v_k = \frac{Q}{F} = \frac{20 \text{ m}^3 / \text{h}}{1 \text{ m}^2} = 20 \text{ m} / \text{h}$$

Tartózkodási idő:

$$t_t = \frac{L}{v_k} = \frac{3 \text{ m}}{20 \text{ m} / \text{h}} = 0,15 \text{ h} = 9 \text{ min}$$

Maximális ülepedési úthossz:

$$l = \frac{d}{\cos \alpha} = \frac{5 \text{ cm}}{0,57357} = 8,72 \text{ cm}$$

Ülepedési sebesség:

$$w_{ii} = \frac{v_k \cdot d}{L} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{3} \cdot \frac{20}{0,57357} = 0,581 \text{ m} / \text{h}$$

Milyen x méretű szemcséket ülephetünk le, a $\rho_1 = 2,65 \text{ kg} / \text{dm}^3$ ill. $\rho_2 = 1,01 \text{ kg} / \text{dm}^3$ Stokes-törvény érvényessége alapján a kritikus szemcseméret:

$$x = \sqrt{\frac{18 w_{ii} \eta}{\Delta \rho g}}$$

A szükséges adatok:

$$\eta = 10^{-3} \text{ Pas}$$

$$\rho_{\text{víz}} = 1000 \text{ kg} / \text{dm}^3$$

Behelyettesítve:

$$x_1 = \sqrt{\frac{18 \cdot 0,581 \cdot 10^{-3}}{1,65 \cdot 10^3 \cdot 9,81}} = \sqrt{0,646 \cdot 10^{-6}} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$x_1 = 0,8 \text{ mm}$$

és

$$x_2 = \sqrt{\frac{18 \cdot 0,581 \cdot 10^{-3}}{1,01 \cdot 10^3 \cdot 9,81}} = \sqrt{1,0555 \cdot 10^{-6}} = 1,03 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$x_2 = 1,03 \text{ mm}$$

Ez azt jelenti, hogy az adott paraméterek mellett a 0,8 mm ill. 1,03 mm feletti szemcseméretnél nagyobb anyagok ülephetők ki.

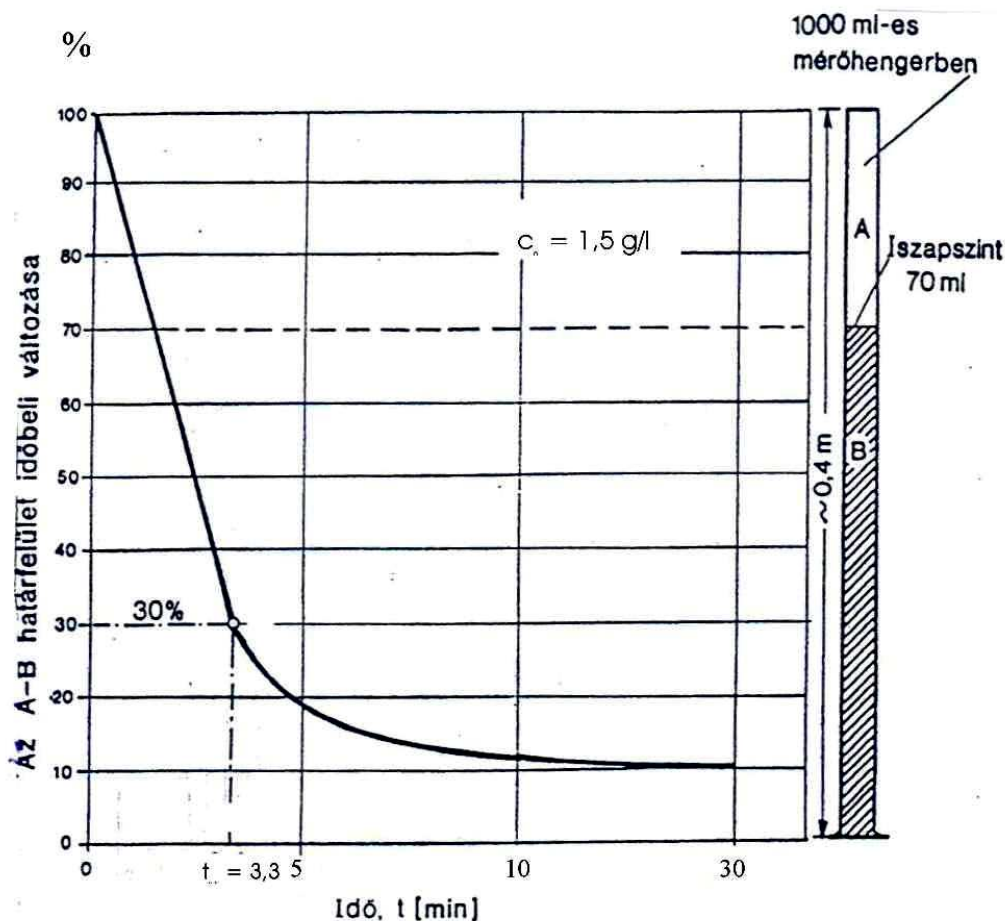
Ugyanezen anyagok ülephéséhez hosszanti átfolyású ülephítőnél a szükséges ülephítő felület:

$$A_{ii} = \frac{Q}{w_{ii}} = \frac{20}{0,581} = 34,4 \text{ m}^2$$

$$B = 4 \text{ m esetén } L = \frac{A_{ii}}{B} = \frac{34,4}{4} = 8,6 \text{ m}$$

II.2.5.12. Szükséges ülepitési idő meghatározása laborkísérlet alapján

Egy 1 l-es ülepitőhengerben végzett laboratóriumi ülepités eredményei a 19. ábrában látható. Az ábra alapján meghatározott (felvett) H hasznos mélységű ülepitőre meghatározható az ülepedési idő.



19. ábra: Laboratóriumi ülepitési kísérlet adatai

$H = 3 \text{ m}$

Az iszapszint süllyedési sebessége C pontig ($t = 3,3 \text{ min}$):

$$w_{ii} = \frac{s}{t_{ik}} = \frac{0,4 \cdot 0,7}{3,3} = 0,085 \text{ m/min} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

A $H = 3 \text{ m}$ -es ülepitőben a hasonló koncentrációjú iszap ülepedéséig szükséges idő (t_{ii}) lineáris extrapolálással kalkulálható:

$$\frac{t_{ii}}{H} = \frac{t_{ik}}{h}, \text{ ahol}$$

h : az ülepitőhenger hasznos hossza. Ebből:

$$t_{ii} = \frac{t_{ik} \cdot H}{h} = \frac{3,3 \text{ min} \cdot 3 \text{ m}}{0,4 \text{ m}} = 24,75 \text{ min}$$

És az iszap koncentrációja:

$$c_{iii} = \frac{c_0}{iszaptérf.hányad} = \frac{1,5 \text{ g/l}}{0,3} = 5 \text{ g/l}$$

II.2.5.13. Kiszámítandó egy kommunális szennyvíz ülepítésére szolgáló kétszintes ülepítő szükséges hasznos térfogata.

Adatok: A falu lakosainak száma: $L = 580$ fő. Egy lakosra vonatkoztatott fajlagos vízfogyasztás: $q = 200$ l/fő-nap

A naponta érkező szennyvíz mennyisége:

$$\dot{Q} = q \cdot L = 580 \cdot 0,2 = 116 \text{ m}^3 / \text{nap}$$

Az órai csúcsterhelés $\alpha = 1/14$ aránnyal számolva:

$$\dot{Q}_{\max} = \dot{Q} \cdot \alpha = 116 \cdot \frac{1}{14} = 8,3 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Az ülepítő hasznos térfogata 30 l/fő fajlagos értékkel:

$$V_{ii} = 30 \cdot \frac{580}{1000} = 17,4 \text{ m}^3$$

A rothasztó hasznos térfogata 60 l/fő fajlagos értékkel:

$$V_r = 60 \cdot \frac{580}{1000} = 34,8 \text{ m}^3$$

A számított tartózkodási idő csúcsterhelésnél:

$$t_{sz} = \frac{V_{ii}}{\dot{Q}_{\max}} = \frac{17,4}{8,3} = 2,1 \text{ h},$$

mely érték szakirodalmakban ajánlott átfolyási időnek felel meg.

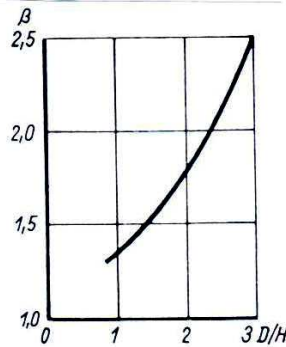
II.2.5.14. Meghatározandó a függőleges átfolyású ülepítő szükséges keresztmetszete és az ülepítő iszap tere.

Adatok:

Az ülepítőre érkező szennyvíz mennyisége: $\dot{Q} = 4000 \text{ m}^3 / \text{nap}$, azaz 1/16 hányadú csúcsot figyelembe véve: $\dot{Q}_{csúcs} = 250 \text{ m}^3 / \text{h}$. A leválasztandó szilárdanyag ülepedési sebessége: $v_{ii} = 2,0 \text{ m/h}$

$$F_{ii} = \beta \cdot \frac{\dot{Q}}{v_{ii}}, \text{ ahol}$$

β : biztonsági tényező a nem egyenletes eloszlású folyadékáramlás miatt. Azerjer szerint ez az ülepítő paramétereiből elsősorban az átmérő és a magasság viszonyától függ. (20. ábra)



20. ábra: A β értékének meghatározására szolgáló görbe

A D/H viszonyt nem előnyös 1,5-nél nagyobbat választani, így $\beta \approx 1,6$.

Behelyettesítve:

$$F_{\ddot{u}} = 1,6 \cdot \frac{250}{2,0} = 200 \text{ m}^2$$

Hat db ülepítő egységet választva az ülepítők átmérője:

$$F_{\ddot{u}1} = \frac{F_{\ddot{u}}}{6} = \frac{200}{6} = 33,34 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\ddot{u}1}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 33,34}{\pi}} = 6,5 \text{ m}$$

Az ülepítők magassága: $D/H = 1,5 \text{ m}$

$$H = \frac{D}{1,5} = \frac{6,5}{1,5} = 4,3 \text{ m}$$

Az iszapsűrítőtér térfogata:

$$V_{it} = \frac{n \cdot Q \cdot (c_1 - c_2)}{\rho_{köz}}, \text{ ahol}$$

n : két leürítés közötti órák száma [óra]

Q : az ülepítő teljesítőképessége [m^3/h]

c_1 : az ülepítendő víz szilárdanyag tartalma [g/m^3]

c_2 : az elfolyó víz szilárdanyag tartalma [g/m^3]

$\rho_{köz}$: az iszap várható koncentrációja [g/m^3]

Adatok:

$n = 8 \text{ h}$

$c_1 = 500 \text{ g}/\text{m}^3$

$c_2 = 10 \text{ g}/\text{m}^3$

$\rho_{köz} = 28000 \text{ g}/\text{m}^3$

Behelyettesítve:

$$V_{it} = \frac{8 \cdot 250 \cdot (500 - 10)}{28000} = \frac{8 \cdot 250 \cdot 490}{28000} = 35 \text{ m}^3$$

A hat tartály esetén, egy-egy tartályban az iszaptér térfogata:

$$V_{it1} = \frac{V_{it}}{6} = \frac{35}{6} = 5,8 \text{ m}^3$$

Természetes, ha az iszap jobban sűrítendő, vagy gyakoribb az iszapelvétele, a szükséges iszaptér térfogata is kisebb, de az iszapelvétele módja az iszaptér geometriáját meghatározza. A

c_1 ülepitendő anyagtartalomnál figyelembe kell venni az esetlegesen kicsapódott ill. koagulálásra felhasznált (kicsapódó) anyag mennyiségét is.

II.2.5.15. Az alábbi hidraulikai terhelés mellett határozzuk meg egy függőleges átfolyású előülepitő és a kapcsolódó iszaptér fő paramétereit

Adatok:

Az ülepitő egy $L = 48000$ lakosú településhez tartozik. A lakosság fajlagos vízfogyasztása $q_v = 150$ l/fő,d. A számított (ajánlott) tartózkodási idő $t_{sz} = 1,2$ h. A nyers iszap fajlagos mennyisége $q_i = 1,0$ l/fő,d. A megengedett áramlási sebesség az ülepitőtérben $v_a = 0,8$ mm/s, míg a feladó hengerben $v_t = 50$ mm/s.

Az ülepitő várható hidraulikai terhelése:

$$Q = 48000 \cdot 0,15 = 7200 \text{ m}^3/\text{nap}$$

A csúcsterhelés 16 h-val számolva:

$$Q_{cs} = 7200 : 16 = 450 \text{ m}^3/\text{h}$$

Az ülepitő magassága:

$$H_{\ddot{u}} = v_{\ddot{u}} \cdot t_{sz} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} \cdot 1,2 \text{ h} \cdot 3600 \text{ s/h}$$

$$H_{\ddot{u}} = 3,5 \text{ m}$$

Az ülepitő vízszintes keresztmetszete:

$$F_{\ddot{u}} = \frac{Q_{cs}}{v_{\ddot{u}}} = \frac{450 \text{ m}^3/\text{h}}{8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} \cdot 3600 \text{ s/h}} = 156,25 \text{ m}^2$$

A feladócső keresztmetszete:

$$F_{fcs} = \frac{Q_{cs}}{v_f} = \frac{450 \text{ m}^3/\text{h}}{5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s} \cdot 3600 \text{ s/h}} = 2,5 \text{ m}^2$$

$n = 4$ db ülepitőt választva az ülepitők:

$$F_{1\ddot{u}} = \frac{F_{\ddot{u}}}{n} = \frac{156,25}{4} = 39,1 \text{ m}^2$$

$$F_{1fcs} = \frac{F_{fcs}}{n} = \frac{2,5}{4} = 0,625 \text{ m}^2$$

és az átmérőik:

$$D_{1\ddot{u}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (F_{1\ddot{u}} + F_{1fcs})}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (39,1 + 0,625)}{\pi}} = 7,1 \text{ m}$$

$$D_{1fcs} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{1fcs}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,625}{\pi}} = 0,9 \text{ m}$$

Az ülepitő felületi terhelése:

$$T_f = \frac{Q_{cs1}}{F_{\ddot{u}1}} = \frac{112,5}{39,1} = 2,88 \text{ m/h}$$

A feladócső alá egy ütközőtárcsa beépítése szükséges. A feladócső és ütközőtárcsa közötti távolság azzal a feltétellel számolható, hogy a közöttük kialakuló körgyűrű nyíláson kiáramló szennyvíz áramlási sebessége:

$$v_{kmax} \leq 3 \text{ cm/s.}$$

$$v = \frac{Q_{cs1}}{F_a} = \frac{Q_{cs1}}{\pi \cdot D_{1fcs} \cdot h} \Rightarrow h = \frac{Q_{cs1}}{v \cdot \pi \cdot D_{1fcs}}$$

$$h = \frac{112,5}{\pi \cdot 3 \cdot 10^{-2} \text{ m/s} \cdot 3600 \cdot 0,9 \text{ m}} = 0,37 \text{ m}$$

A feladócső leggyakoribb esetben csonkakúp jellegű, így az alsó átmérője nagyobb, mint a számításnál felhasznált D_{ifcs} érték. Ez esetben a h értéke kis mértékben csökken.

A szükséges iszapter egy napos időközönkénti iszapeltávolítás esetén:

$$V_i = L \cdot q_i = 48000 \cdot 1 = 48000 \text{ l} = 48 \text{ m}^3$$

Ülepítőnkénti iszapter:

$$V_{i1} = \frac{V_i}{n} = \frac{48}{4} = 12 \text{ m}^3$$

Az ülepítőtér fordított csonkakúp, melynek méreteit az ülepítő átmérője és kialakítás geometriája határozzák meg:

$$V_{\text{csk}} = \frac{H_{\text{csk}} \cdot (R^2 + Rr + r^2) \cdot \pi}{3}$$

$$R = \frac{D_{\text{lü}}}{2} = \frac{7,1}{2} = 3,55 \text{ m}$$

$r = 0,25 \text{ m}$ (felvett érték)

α : a kúp hajlásszöge = 45°

$$H_{\text{csk}} = \text{tg } \alpha \cdot (R - r) = \text{tg } 45^\circ \cdot (3,55 - 0,25)$$

$H_{\text{csk}} = 3,3 \text{ m}$

$$V_{\text{csk}} = \frac{3,3 \cdot (3,55^2 + 3,55 \cdot 0,25 + 0,25^2) \cdot \pi}{3}$$

$$V_{\text{csk}} = \frac{3,3 \cdot (12,6 + 0,89 + 0,06) \cdot \pi}{3} = 46,8 \text{ m}^3$$

Azaz az iszapterben több napos leeresztési ciklus is megengedhető lenne, ami az iszap rothadóképessége miatt nem ajánlatos.

Az iszapterfogat számítható a bemenő víz szilárdanyagának és a besűrített iszap koncentrációja ismeretében is:

$c_0 = 200 \text{ mg/l}$, $c_i = 20 \text{ kg/m}^3$. A leválasztás hatásfoka 80 %. A szennyvízhozam $Q_{\text{cs}} = 450 \text{ m}^3/\text{h}$.

$$\dot{Q}_i = Q_{\text{cs}} \cdot \frac{c_0}{c_i} \cdot \eta = 450 \cdot \frac{0,2}{20} \cdot 0,8 = 3,6 \text{ m}^3 / \text{h}$$

A $t_e = 8$ órai leeresztési ciklusidőt figyelembe véve a ténylegesen leeresztendő iszapterfogat:

$$V_i = Q_i \cdot t_e = 3,6 \cdot 8 = 28,8 \text{ m}^3$$

Négy db ülepítő esetén az egy-egy ülepítőtől leeresztendő iszap:

$$V_{i1} = \frac{V_i}{n} = \frac{28,8}{4} = 7,2 \text{ m}^3$$

Az iszapgyűjtő rész kúpszöge, α általában $\geq 60^\circ$.

II.2.5.16. Stengel-fejes szennyvíz bevezetők esetére meghatározandó a vízbevezető fejek száma ismert átmérőnél:

Az ülepítőben kialakuló kedvező áramlási viszonyok egyenletes szennyvízbevezetést igényelnek. Ilyen lehet pl. a Stengel-fej alkalmazása.

$Q = 450 \text{ m}^3/\text{h}$, $D = 0,3 \text{ m}$, v_{max} a bevezető csőben = $0,12 \text{ m/s}$.

A bevezető cső keresztmetszete:

$$F = \frac{D^2 \pi}{n} = 0,07 \text{ m}^2$$

Egy bevezetőcsövön feladható szennyvízhozam:

$$q = F \cdot v = 0,07 \cdot 0,12 = 8,48 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q = 30,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

A szükséges Stengel-fejek száma:

$$n = \frac{Q}{q} = \frac{450}{30,5} = 14,7 \approx 15 \text{ db}$$

II.2.5.17. Ülepítői vízvezetés fogazott bukóél segítségével

Meghatározandó egy Dorr ülepítő fogazott bukóél elvezetőjének átlagos élterhelése, a bukók szükséges száma, a víz átbukási magassága az alábbi kiindulási adatok segítségével:

$$D = 30 \text{ m}$$

$$Q = 500 \text{ m}^3/\text{h}$$

α : a Thomson-bukó csúcshöge = 45°

a: a bukók tengelyeinek távolsága = 0,3 m

Az ülepítő kerülete (a bukóél teljes hossza):

$$L = D \cdot \pi = 30 \cdot \pi = 94,25 \text{ m}$$

A Thomson-bukók száma:

$$n = \frac{L}{a} = \frac{94,25}{0,3} = 315 \text{ db},$$

ebből visszaszámolva a bukók tebgelyének tényleges távolsága:

$$a_t = 0,299 \text{ m}$$

a bukóél átlagos terhelése:

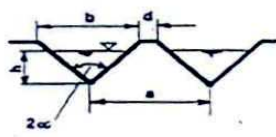
$$q_{\text{él}} = \frac{Q}{L} = \frac{500}{94,25} = 5,3 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot \text{m}$$

Egy Thomson-bukó terhelése:

$$q_b = \frac{Q}{n} = \frac{500}{315} = 1,59 \text{ m}^3 / \text{h} = 0,441 \text{ l} / \text{s}$$

Az átbukási magasság pedig az 21. ábra szerint:

$$h = 3,9 \text{ cm}$$



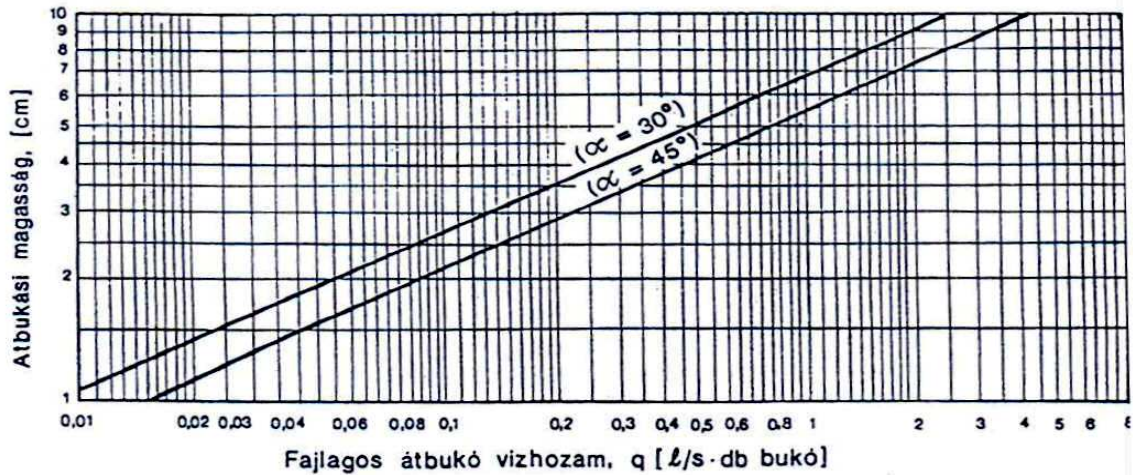
$$\text{Átbukó vízhozam } Q = q \cdot \frac{\ell}{a} = \frac{8}{15} \mu \cdot \text{tg } \alpha \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{5/2} \cdot \frac{\ell}{a} \text{ [m}^3/\text{s]}$$

$$\text{Fajlagos átbukó vízhozam } q = \frac{8}{15} \mu \text{ tg } \alpha \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{5/2} \text{ [m}^3/\text{s} \cdot \text{db bukó}]$$

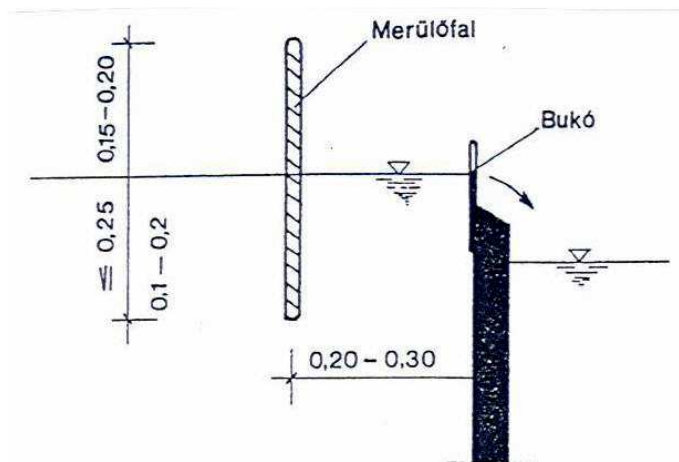
$$\text{A bukó élhosszúsága } \ell \text{ [m]}$$

$$\text{Átbukási magasság } h \text{ [m]}$$

$$\text{Vízhozamtényező } \mu = 0,565 + 0,0087 \cdot h^{-1/2}$$



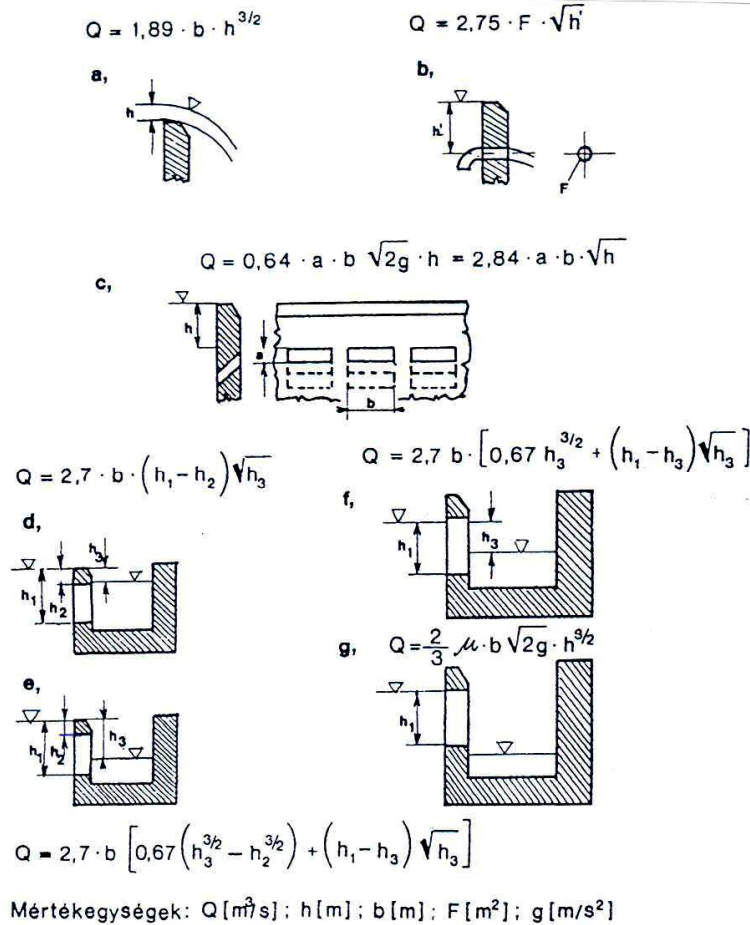
21. ábra: Tervezési segédlet fogazott bukóél hidraulikai méretezéséhez (Pöpel, Weicher)



22. ábra: A vízvezető bukóhoz tartozó merülőfal elhelyezési adatai

II.2.5.18. Hosszanti átfolyású üleptők vízvezetési módjai és azok hidraulikai adatának számítása

A 23. ábrában néhány vízvezetési mód és azokra jellemző számítási képletek találhatók.



a: bukóél; b: könyökső; c: négyszögszelvény; d-g: nyílások, különböző jelleggel;

23. ábra: Vízvezetési módok hosszanti átfolyású ülepítőknél és azokra érvényes vízhozam képletek (Müller)

Végezzünk számításokat ezekre az elvezetésekre az alábbi kiindulási adatokkal:

Az ülepítő szélessége: $B = 8$ m

Az elvezető fajlagos terhelése: $q = 40$ m³/m·h

Az elvezetés vízhozam tényezője: $\mu = 0,64$

Az ülepítő terhelése:

$$Q = B \cdot q = 8 \cdot 40 = 320 \text{ m}^3/\text{h} = 0,08889 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bukóélnél (a):

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu B \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{\frac{3}{2}} = 1,89 \cdot B \cdot h^{\frac{3}{2}}$$

$$h^{\frac{3}{2}} = \frac{Q}{1,89 \cdot B} \text{ és } h = \left(\frac{Q}{1,89 \cdot B} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$h = \left(\frac{0,08889}{1,89 \cdot 8} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,0325 \text{ m} = 3,25 \text{ cm}$$

Könyökcső elvezetésnél (b):

$$Q_1 = 2,75 \cdot F \cdot \sqrt{h}$$

$$h' = 0,2 \text{ m}$$

$$d = 0,06 \text{ m} \Rightarrow F_1 = \frac{d^2 \pi}{4} = 0,002827 \text{ m}^2$$

$$Q_1 = 2,75 \cdot 0,002827 \cdot \sqrt{0,2} = 0,003477 \text{ m}^3/\text{s}$$

A könyökcső elvezetések száma:

$$N = \frac{Q}{Q_1} = \frac{0,08889}{0,003477} = 25,6 \approx 26 \text{ db}$$

Az elvezető csövek tengely távolsága, l:

$$l = \frac{B}{N} = \frac{8 \text{ m}}{26 \text{ db}} = 0,308 \text{ m} = 308 \text{ mm}$$

Négyszögszelvény (c) alkalmazásakor, ha a nyílások mérete:

$$h = 0,2 \text{ m}; a = 0,02 \text{ m}; b = 0,1 \text{ m}$$

$$Q_1 = \mu ab \cdot \sqrt{2gh} = 2,84 \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{h}$$

$$Q_1 = 2,84 \cdot 0,02 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{0,2} = 0,0025 \text{ m}^3 / \text{s}$$

A négyszög nyílások száma:

$$N = \frac{Q}{Q_1} = \frac{0,08889}{0,0025} \approx 35 \text{ db}$$

és azok tengelytávolsága:

$$l = \frac{B}{N} = \frac{8}{35} = 0,229 \text{ m} = 229 \text{ mm}$$

A különböző módon elhelyezett nyílások felhasználásánál:

(d) jelűnél, ha $h_3 = 0,15 \text{ m}$

$$Q = 2,7 \cdot B \cdot (h_1 - h_2) \cdot \sqrt{h_3}$$

$$h_1 - h_2 = \frac{Q}{2,7 \cdot B \cdot \sqrt{h_3}} = \frac{0,08889}{2,7 \cdot 8 \cdot \sqrt{0,15}} = 0,011 \text{ m}$$

$$h_1 - h_2 = 11 \text{ mm}$$

az (e) jelűnél mennyi a h_1 értéke ha $h_2 = 0,15 \text{ m}$ és $h_3 = 0,15 \text{ m}$

$$Q = 2,7 \cdot B \left[0,67 \cdot \left(h_3^{\frac{3}{2}} - h_2^{\frac{3}{2}} \right) + (h_1 - h_3) \cdot \sqrt{h_3} \right]$$

$$Q = 2,7 \cdot 8 \left[0,67 \cdot \left(0,15^{\frac{3}{2}} - 0,15^{\frac{3}{2}} \right) + (h_1 - 0,15) \cdot \sqrt{0,15} \right] = 2,7 \cdot 8 (h_1 - 0,15) \cdot \sqrt{0,15} =$$
$$= 8,366 \cdot (h_1 - 0,15)$$

$$h_1 = \frac{Q}{8,366} + 0,15 = \frac{0,08889}{8,366} + 0,15$$

$$h_1 = 0,161 \text{ m}$$

$$h_1 - h_2 = 0,161 - 0,15 = 0,011 \text{ m} = 11 \text{ mm}$$

Az (f) jelű megvalósításnál a h_1 értéke, ha $h_3 = 0,015$ m.

Az előző képletet felhasználva $h_2 = 0$ behelyettesítéssel:

$$Q = 2,7 \cdot B \left[0,67 \cdot h_3^{\frac{3}{2}} + (h_1 - h_3) \cdot \sqrt{h_3} \right] = 2,7 \cdot 8 \left[0,67 \cdot 0,015^{\frac{3}{2}} + (h_1 - 0,015) \cdot \sqrt{0,015} \right] =$$

$$= 21,6 \cdot [0,00123 + (h_1 - 0,015) \cdot 0,1225]$$

$$Q = 0,02657 + 2,6454 \cdot (h_1 - 0,015)$$

$$Q = 0,08889 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$0,08889 = 0,02657 + 2,6454 (h_1 - 0,015)$$

$$h_1 = \frac{0,08889 - 0,02657}{2,6454} + 0,015 = 0,0385 \text{ m}$$

$$h_1 = 38,5 \text{ mm}$$

A (g) jelű megoldás számítása megegyezik a bukóéles (a) elvezetésnél alkalmazottal.

II.2.6. Olajfogó méretezése

A kis sűrűségű anyagok, olaj, zsír a víz felszínére úszik, ha a részecske mérete ezt lehetővé teszi. Leválasztásuk olajfogóban történik.

II.2.6.1. Hosszanti átfolyású olajfogó méretezése

Az olajos szennyvíz mennyisége $Q = 500 \text{ m}^3/\text{h} = 0,1389 \text{ m}^3/\text{s}$. A jellemző olajcsepp méret $x = 100 \text{ }\mu\text{m}$, sűrűsége $\rho_0 = 0,925 \text{ g/cm}^3$. A víz hőmérséklete $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, sűrűsége $\rho_v = 0,996 \text{ g/cm}^3$ és dinamikai viszkozitása $\eta = 0,008 \text{ g/cm}\cdot\text{s}$. A méretezést az API által kifejlesztett módszerrel végezve:

Az olajcsepp felúszási sebessége Stokes-törvénye szerint:

$$w = \frac{x^2 \cdot g \cdot \Delta\rho}{18 \cdot \eta} = \frac{0,01^2 \cdot 981 \cdot 0,996 - 0,925}{18 \cdot 0,008} = 0,0484 \text{ cm/s}$$

A felúsztatás feltétele: az átlagos átfolyási sebesség, $v_a < 15 w$, azaz:

$$v_{a\text{max}} = 15 \cdot 0,0484 = 0,726 \text{ cm/s} = 0,436 \text{ m/min}$$

A hidraulikai viszonyok optimálistól való eltérését az API egy c korrekciós tényezővel veszi figyelembe a v_a/w függvényében (19. táblázat).

Feladatunkban:

$$\frac{v_a}{w} = 15$$

A 19. táblázat adatai alapján a korrekciós tényezők:

c_1 korrekciós tényező, a rövidrezáródhatóságot veszi figyelembe, = 1,2

c_2 korrekciós tényező, a turbulencia hatása miatt, = 1,37

$$c = c_1 \cdot c_2 = 1,644$$

$\frac{v_a}{w}$	c_1	c_2	$c = c_1 \cdot c_2$
20	1,2	1,45	1,74
15	1,2	1,37	1,64
10	1,2	1,27	1,52
6	1,2	1,14	1,37
3	1,2	1,07	1,28

19. táblázat: A korrekciós tényezők adatai hosszanti átfolyású olajfogók méretezésénél

A leválasztó alapterülete (a felúsztatásban résztvevő felület) a Hazen – elv szerint:

$$T_f = w = \frac{\dot{Q}}{F_{ii}} \Rightarrow F_{ii} = \frac{\dot{Q}}{w} \cdot c$$

$$F_{ii} = 1,644 \cdot \frac{0,1389}{0,000484} = 471,8 \text{ m}^2$$

A nedvesített keresztmetszet:

$$F = H \cdot B = \frac{Q}{v_a} = \frac{0,1389}{0,00726} = 19,2 \text{ m}^2$$

Két olajfogót alkalmazva, $H = 1,6 \text{ m}$ vízmélységet választva a medence szélessége:

$$B = \frac{F}{H} = \frac{19,2}{1,6} = 12 \text{ m}$$

azaz olajfogónként $B_i = 6 - 6 \text{ m}$.

A tényleges hossz méret a c-vel korrigálva:

$$L = c \cdot \frac{v_k}{w} \cdot H = 1,644 \cdot 15 \cdot 1,6 \approx 39,5$$

A medencék össztérfogata:

$$V = L \cdot B \cdot H = 39,5 \cdot 12 \cdot 1,6 = 758,4 \text{ m}^3$$

A várható tartózkodási idő pedig:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{758,4}{500} = 1,517 \text{ h}$$

Jellemző adatok még az olajfogók méretezéséhez (20. táblázat) Kropf szerint:

Olajszármazék neve	Sűrűség [kg/dm ³]	Felúszási sebesség w (m/h)	Az olajfogó fajlagos felülete m ² -ben 1 l/s vízhozamra
Petróleuméter	0,75	22,5	0,16
Petróleum	0,80	18,0	0,20
Könnyűolaj	0,85	13,5	0,27
Kenőolaj	0,90	9,0	0,40

Megjegyzés: A w sebesség D = 0,25 mm mérethez tartozik.

20. táblázat: Néhány jellemző paraméter olajfogó méretezéséhez (Kropf)

II.2.6.2. Lemezes olajfogó méretezése

Meghatározandó a lemezes olajfogó mérete adott hidraulikus terhelés mellett.

$$Q = 50 \text{ l/s}$$

A lemezek távolsága: $d = 0,1 \text{ m}$

A lemezek hajlásszöge: $\alpha = 45^\circ$

A szennyvíz kinematikai viszkozitása: $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Az olajcsepp felúszási sebessége (Stokes), $w = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$

Feltételezhető, hogy az áramlás lamináris, azaz

$$Re = 2000 < Re_{krit} = 2320$$

Az Re-re felírható egy D átmérőjű csőre:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

A lemezek miatt a D helyett a hidraulikai sugár $R = \frac{D}{4}$ írható fel, ahol $R = \frac{d}{2}$. A folyadék

áramlási sebessége pedig felírható a Q hidraulikus terhelés segítségével $v = \frac{Q}{F}$.

Behelyettesítve:

$$Re = \frac{2 \cdot d \cdot Q}{F \cdot \nu} \quad \text{és} \quad F = \frac{2 \cdot d \cdot Q}{Re \cdot \nu}$$

Re = 2000-nél:

$$F = \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 0,05}{2000 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} = 5 \text{ m}^2$$

Amennyiben párhuzamosan 2 olajfogót tervezünk és azokban 2 – 2 lemezköteg elhelyezésére kerül sor, egy – egy lemezköteg keresztmetszete:

$$F_1 = \frac{F}{4} = \frac{5}{4} = 1,25 \text{ m}^2$$

A lemezköteg hossza, és a tartózkodási idő:

$$w = \frac{l}{t} = \frac{d}{t \cdot \cos \alpha}$$

$$t = \frac{d}{w \cdot \cos \alpha} = \frac{0,1}{2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,7071} = 707 \text{ s} \approx 12 \text{ min}$$

$$t = \frac{V_{ii}}{Q} = \frac{F \cdot L}{Q} \Rightarrow L = \frac{t \cdot Q}{F}$$

$$L = \frac{707 \text{ s} \cdot 0,05 \text{ m}^3 / \text{s}}{5 \text{ m}^2} = 7,07 \approx 7 \text{ m}$$

II.2.7. Zagysűrítő méretezése

Az ülepitő által biztosított híg iszap sűrítésére szolgál.

II.2.7.1. Zagysűrítő méretezése Kynch módszerrel

A méretezés laboratóriumi ülepitési kísérlet eredményei értékelésével oldható meg. Az ülepitési kísérlet során az idő függvényében kell az ülepedő iszaposzlop térfogatát megfigyelni, feljegyezni a kísérleti eredmények értékelésének segítségével a zagysűrítő méretei meghatározhatók.

Kiindulási adatok:

A kiülepitendő szilárdanyag térfogatárama $\dot{M} = 15 \text{ t/h}$

A szilárdanyag sűrűsége: $\rho_a = 1,5 \text{ kg/dm}^3$

A víz sűrűsége: $\rho_v = 1,0 \text{ kg/dm}^3$

A zagyban a víz térfogataránya: $\delta_0 = 0,9$

Néhány szükséges adat, számítás:

Lebegőanyag térfogatarány: $c = 1 - \delta$

Hígítás:

$$h = \frac{m_f}{m_{sz}} = \frac{\delta_i \cdot \rho_v}{(1 - \delta_i) \cdot \rho_{sz}} = \frac{\delta_i}{1 - \delta_i} \cdot \frac{\rho_v}{\rho_{sz}}$$

ill.

$$\delta = \frac{h}{\frac{\rho_v}{\rho_{sz}} + h} \quad \text{és}$$

$$(1 - \delta_0) \cdot H'_0 = (1 - \delta_i) \cdot H'_i$$

$$(1 - \delta_0) = (1 - \delta_i) \cdot \frac{H'_0}{H'_i}$$

Az ülepitőhengerben a zagymagasság, $H_0 = 0,4 \text{ m}$

Kiindulási hígítás:

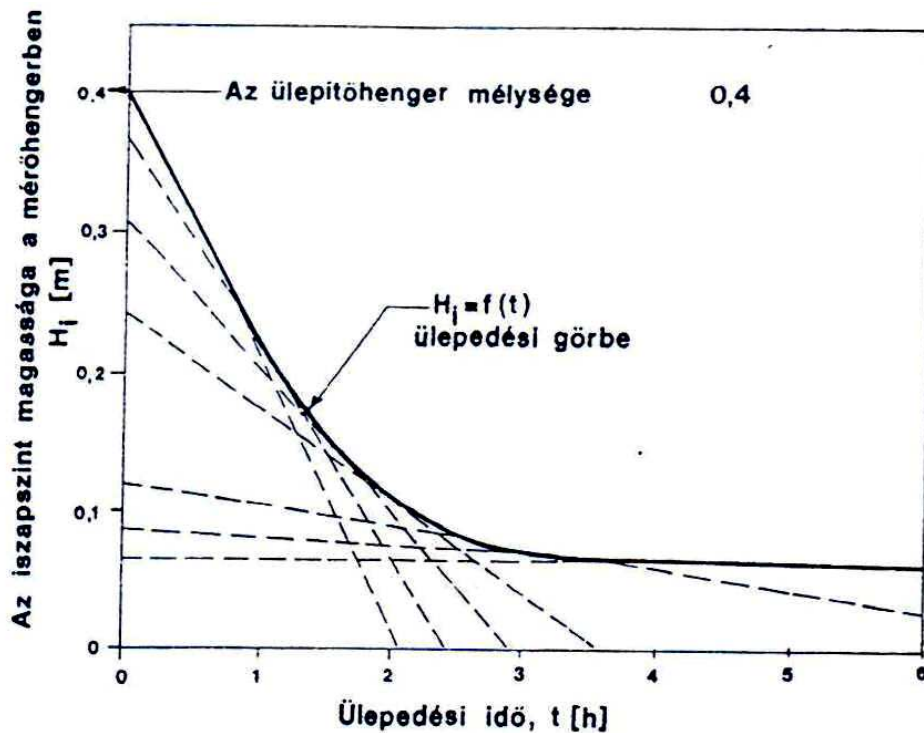
$$h_0 = \frac{\delta_0}{1 - \delta_0} \cdot \frac{\rho_v}{\rho_{sz}} = \frac{0,9}{0,1} \cdot \frac{1}{1,5} = 6$$

A zagysűrítési kísérlet mért és számított értékei az 21. táblázatban láthatók.

Ülepítési idő t [h]	Izszapszint H_i [m]	$H' = H_i + v_{ü} \cdot t_i$ [m]	Ülepedési sebesség $v_{üi}$ [m/h]	Vízterfogat arány δ_i [%]	Leb. anyag térfogat arány $C_i = (1 - \delta_i)$	$\frac{\delta_i}{1 - \delta_i}$	Hígítás h'
0,0	0,40	0,40	0,195	90,00	10,00	9,00	6,00
0,5	0,31	0,40	0,195	90,00	10,00	9,00	6,00
1,0	0,22	0,36	0,150	88,89	11,11	8,00	5,33
1,5	0,15	0,31	0,107	87,10	12,90	6,75	4,50
2,0	0,11	0,24	0,068	83,33	16,67	5,00	3,33
3,0	0,075	0,12	0,016	66,67	33,33	2,00	1,33
4,0	0,065	0,085	0,008	52,94	47,06	1,12	0,75
5,0	0,06	0,065	0,003	38,46	61,54	0,62	0,41
	0,05	0,05	0,000	20,00	80,00	0,25	0,17

21. táblázat: Zagysűrítési kísérletek mért és számított adatai

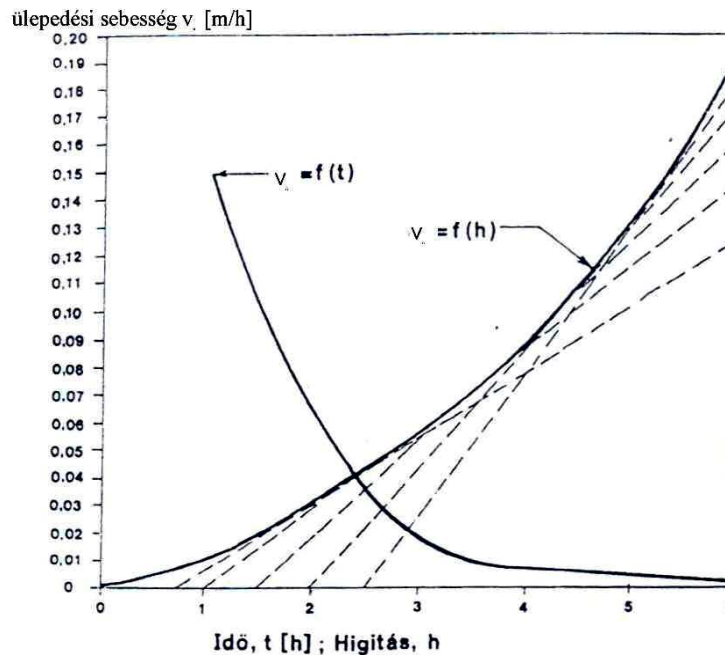
A H_i értékek a laboratóriumi kísérletek során az idő függvényében leolvashatók. A H' az adott ponthoz húzott érintő és a függőleges tengely (H_i -tengely) metszéspontja adja. Az ülepedési sebesség pedig az adott pontban a ponthoz húzott érintő hajlásszögének tangenseként számítható.



24. ábra: Ülepítési görbe zagysűrítő méretezéshez

Az adatok ismeretében szerkeszthető egy másik ábra, melyben az ülepedési sebesség ábrázolható a mindenkori hígítás [$v_{\ddot{u}} = f(h)$] és az idő [$v_{\ddot{u}} = f(t)$] függvényében (25. ábra).

A 25. ábrában a $v_{\ddot{u}} = f(h)$ függvényről meghatározott koncentrációból, hígítástól, (ha iszap elvételi koncentráció) a v függvényhez húzott érintő hajlásszögének tangense megadja az 1 tonna szilárdanyag óránkénti ülepedésére szükséges fajlagos ülepítőfelületet. Azaz:



25. ábra: Zagysűrítési kísérlet eredményei, az ülepedési sebesség változása a hígítás és az idő függvényében

$$f = \frac{h_i - h_n}{v_{\ddot{u}}}; [m^2 / t / h]$$

és a tényleges ülepítő felület pedig:

$$F = \dot{M} \cdot f; [m^2]$$

A példában ismertetett kísérlet és a kiindulási paramétereket figyelembe véve lehetséges ülepítési paramétereket (ülepítő felület ill. átmérő, és a szükséges ülepítési idő) meghatározható, az adatokat a 22. táblázat adatai közül a kiválasztott h_n -ból érintőt húzva a $v = f(h)$ görbéhez. Az érintési ponthoz tartozó h_i és $v_{\ddot{u}}$ a koordináta tengelyekről leolvasható. És az f fajlagos felület kiszámítható a méretezés elvégezhető.

h_n	h_i	$v_{\ddot{u}}$ (m/h)	f ($m^2/t/h$)	F (m^2)	D (m)	t_{sz} (h)
0,75	1,8	0,025	42,0	630,0	28,3	2,8
1,0	3,5	0,07	35,7	535,5	26,1	1,9
1,5	4,0	0,09	27,8	417,0	23,0	1,7
2,0	4,5	0,11	22,7	340,5	20,8	1,4
2,5	5,0	0,13	19,2	288,0	19,2	1,2

22. táblázat: Különböző szilárdanyag koncentrációjú iszap elvételhez tartozó zagysűrítési paraméterek (ülepítő felület, átmérő, ülepítési idő)

II.2.7.2. Zagysűrítő méretezés felületi lebegőanyagterhelés alapján

Kiindulási adatok:

A sűrítendő zagy koncentrációja: $c_0 = 25 \text{ kg/m}^3$

A sűrített zagy koncentrációja: $c_n = 12 \text{ kg/m}^3$

A sűrítendő zagy térfogatárama: $Q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$

Az Eckenfelder-féle összefüggés alapján a felületi lebegőanyagterhelés:

$$T_f^n = \frac{k}{\frac{c_n}{c_0} - 1}$$

Az egyenletben tapasztalati konstans az n és a k , amelyek laboratóriumi kísérlettel és annak értékelésével határozhatók meg számítással ill. grafikus ábrázolás segítségével.

A kísérlet 1000 ml-es mérőhengerben végezve, a zagysűrítési kísérlet adatait a 23. táblázat tartalmazza:

H_i [ml]	t_i [mm/s]	c_i [kg/m ³]	v_i [m ³ /h]	$f_i, \text{m}^2\text{kg, d, ha } c_n$		
				8 [kg/m ³]	10 [kg/m ³]	12 [kg/m ³]
700	4'10"	3,56	0,980	0,0066	0,0077	0,0084
600	5'50"	4,15	0,626	0,0077	0,0094	0,0105
500	8'20"	4,98	0,380	0,0083	0,0111	0,0129
400	13'00"	6,23	0,216	0,0068	0,0117	0,0149
300	20'55"	8,30	0,146	-	0,0059	0,0106

23. táblázat: A labor zagysűrítés mért és számított adatai

A táblázatban a H_i és t_i mért adatok, a c_i koncentráció értékek a

$$c_i = c_0 \cdot \frac{H_i}{H_0}$$

képlettel, míg az f fajlagos ülepítőfelület értéke az

$$f_i = \frac{1}{24} \frac{1}{v_i} \frac{c_u}{c_i}$$

képlettel határozhatók meg. A v_i az ülepítési görbéből, az adott ponthoz húzott érintő irántangense. A méretezéseket a f_{\max} -ra érdemes elvégezni. E szerint az összetartozó értékek a 24. táblázatban összefoglalva:

c_{n_0} [kg/m ³]	f_{\max} [m ² /kgd]	$\frac{c_u}{c_0}$	T_{fe} [kg/m ² d]
8	0,0083	3,20	120,5
10	0,0117	4,00	85,5
12	0,0149	4,80	66,6

24. táblázat: Számított adatok a zagysűrítő méretezéséhez

A táblázat adatai alapján megszerkeszthető a

$\lg\left(\frac{c_u}{c_0} - 1\right) = f(\lg T_{fe})$ függvény, melynek képe egyenes. Ennek hajlásszögének tangense adja

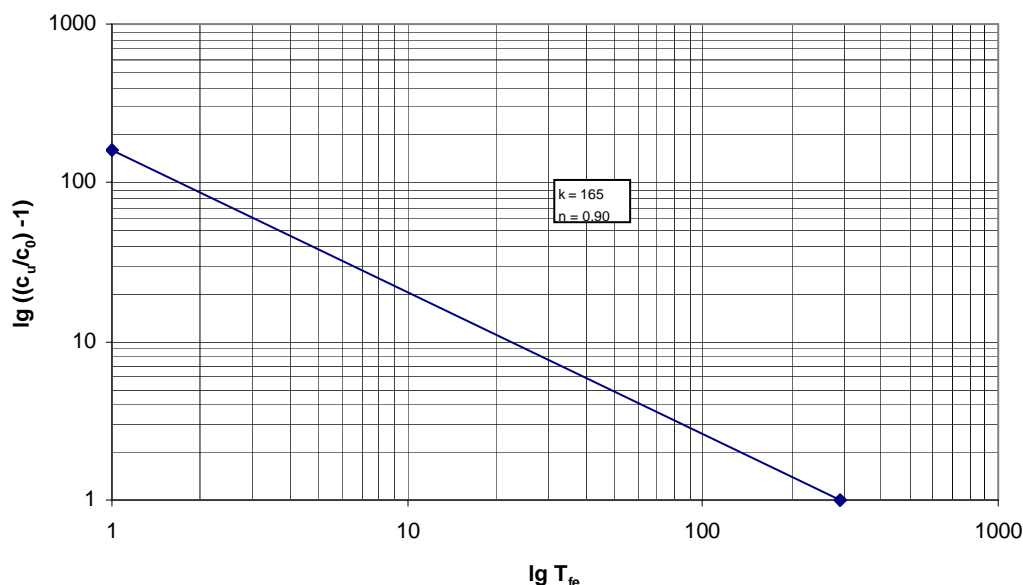
az Eckenfelder képletben az n értéket, míg az egyenes és a $\lg\left(\frac{c_u}{c_0} - 1\right)$ tengely metszete a k állandó (21. ábra). Egy adott típusú iszapnál az n állandó, a k érték viszont a sűrítendő zagy koncentrációja.

Esetünkben a $k = 165$, míg az $n = 0,90$. Behelyettesítve az Eckenfelder – féle összefüggésbe:

$$T_f^n = \frac{k}{\frac{c_u}{c_0} - 1} = \frac{165}{\frac{12}{2,5} - 1} = \frac{165}{3,8} = 43,42$$

és

$$\lg T_f = \frac{\lg 43,42}{n} = \frac{1,6377}{0,9} = 1,8196$$



26. ábra: Az Eckenfelder egyenlet konstansainak meghatározása grafikus módszerrel

Valamint:

$$T_f = 66 \text{ kg/m}^2\text{d}$$

Ez az érték azonos az elméletileg számított T_{fe} értékkel (24. táblázat). A feladási szuszpenzió jellegének ingadozása miatt ennek 70 %-ával lehet számolni, azaz

$$T_{ft} = 0,7 \cdot 66 = 46,2 \text{ kg/m}^2\text{d}$$

Ennek segítségével a zagysűrítő keresztmetszete:

$$F = \frac{\dot{Q} \cdot c_0}{T_f} = \frac{960 \cdot 2,5}{46,2} = 51,9 \text{ m}^2$$

és átmérője körkeresztmetszetű zagysűrítő alkalmazása esetén:

$$D = 8,13 \approx 8,2 \text{ m.}$$

II.2.8. Szűrési számítások

A szűrés fázisszétválasztási eljárás. A vízben levő szilárd (lebegő) anyag leválasztása a szűrőközeg porozitása és a szilárdanyag szemcseméretének összerendelése alapján történik.

II.2.8.1. Mélységi szűrésnél milyen h_0 vízoszlopra van szükség, ha az oszlop alján a p_2 nyomás = 1,3 mVó ?

Alapadatok:

a szűrőtöltet magassága: $h = 1,5$ m

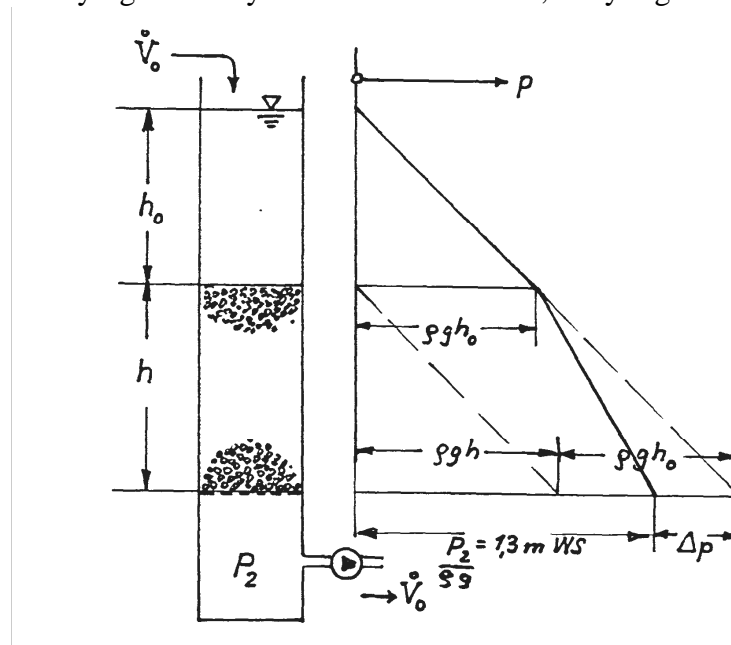
a szűrőtöltet anyagának szemcsemérete: $d = 1$ mm

a töltet porozitása: $\varepsilon = 0,4$

a szűrendő víz jellemzői: $\rho = 1$ kg/dm³
 $\nu = 10^{-2}$ cm²/s

a szűrési sebesség: $\bar{v}_{sz} = 15$ m/h

A 27. ábrán a mélységi szűrő nyomáseloszlása látható, mely segít a feladat megoldásában.



27. ábra: A mélységi szűrőben kialakuló nyomásvizonyok

A 27. ábra segítségével a nyomásvizonyra felírható:

$$\rho \cdot g \cdot h_0 + \rho \cdot g \cdot h = p_2 + \Delta p$$

Ebből:

$$h_0 = \frac{1}{\rho g} (p_2 + \Delta p - \rho g h)$$

A számítás elvégzéséhez még meg kell határozni a szűrőközeg ellenállásából adódó Δp nyomásvesztés értékét, melyet a halmazra jellemző Reynolds-szám és ellenállás szám ismeretében tehetünk meg.

$$\text{Re} = \frac{1}{1 - \varepsilon} \cdot \frac{\bar{v}_{sz} \cdot d}{\nu}$$

ill.

$$\psi = \frac{\varepsilon^3}{1 - \varepsilon} \cdot \frac{\Delta p}{\rho \cdot v_{sz}^2} \cdot \frac{d}{h}$$

Kis Re-szám esetén:

$$\Psi \approx 150 / \text{Re}, \text{ azaz: } \frac{\varepsilon^3}{1 - \varepsilon} \cdot \frac{\Delta p}{\rho \cdot v_{sz}^2} \cdot \frac{d}{h} = \frac{150 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot v}{v_{sz} \cdot d}$$

Ebből a feltételből, behelyettesítés után a Δp meghatározható:

$$\Delta p = \frac{150 \cdot (1 - \varepsilon)^2 \cdot v \cdot \rho \cdot v_{sz} \cdot h}{\varepsilon^3 \cdot d^2}$$

Behelyettesítve:

$$\Delta p = \frac{150 \cdot (1 - 0,4)^2 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 150 \cdot 1500}{0,4^3 \cdot 10^{-2} \cdot 3600} = 5,27 \cdot 10^4 \frac{g}{cm, s^2} = 5,27 \cdot 10^3 \frac{N}{m^2} = 0,0527 \text{ bar}$$

$$\left(1 \frac{g}{cm, s^2} = 10^{-1} \frac{N}{m^2}; \quad 1 \frac{N}{m^2} = 10^{-5} \text{ bar}; \quad 1 \text{ bar} = 10 \text{ mVo.} \right)$$

$$\frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = 0,527 \text{ mVo}$$

Ezek után a h_0 értéke:

$$h_0 = \frac{1}{\rho \cdot g} \cdot (p_2 + \Delta p - \rho g h)$$

$$h_0 = \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} - h$$

$$h_0 = 1,3 + 0,527 - 1,5 = 0,327 \text{ m}$$

A töltet felett szükséges vízoszlop magasság, h_0 tehát 0,33 m.

II.2.8.2. Nyomásesés többrétegű szűrőben

Adatok:

réteg: Aktív szén, $\bar{x}_I = 4 \text{ mm}$, $h_I = 0,4 \text{ m}$, $\varepsilon_I = 0,4$

réteg: Antracit, $\bar{x}_{II} = 2 \text{ mm}$, $h_{II} = 1,25 \text{ m}$, $\varepsilon_{II} = 0,4$

réteg: Kvarc, $\bar{x}_{III} = 1 \text{ mm}$, $h_{III} = 0,7 \text{ m}$, $\varepsilon_{III} = 0,39$

A víz jellemzői: $\rho = 999 \text{ kg/m}^3$, $\eta = 1,136 \cdot 10^{-3} \text{ Pas}$

Az átlag szűrési sebesség: $\bar{v} = 8 \text{ m/h} = 2,22 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

A rétegekben a Re-szám:

$$\text{Re}_i = \frac{\bar{v} \cdot \bar{x}_i \cdot \rho}{\eta}$$

Behelyettesítve, az egyes rétegre kapott Re-számok

$$\text{Re}_I = 7,8$$

$$\text{Re}_{II} = 3,9$$

$$\text{Re}_{III} = 2,0$$

Az Ergun egyenlet a számított Re-számok (gyengén turbulens áramlás) mellett érvényes, azaz:

$$\frac{\Delta p}{h} = 150 \cdot \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\eta \cdot \bar{v}}{\bar{x}^2} + 1,75 \cdot \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\rho \cdot \bar{v}}{\bar{x}^2}$$

Behelyettesítve a kiindulási adatokat:

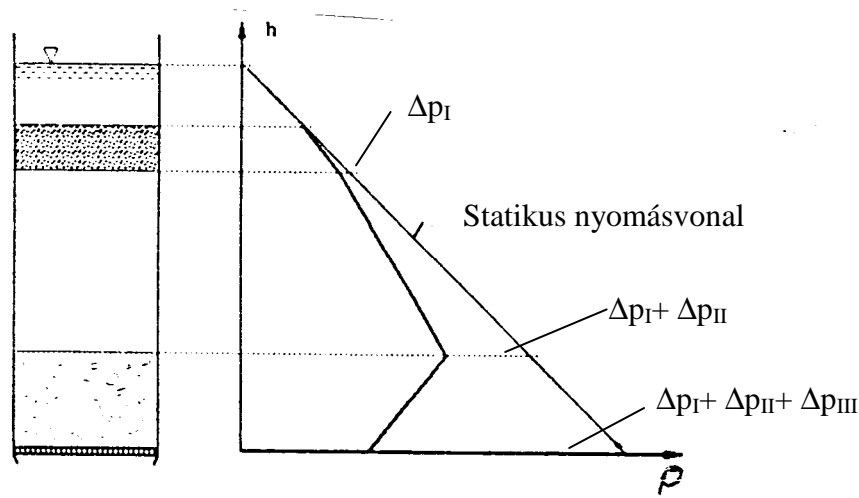
$$\Delta p_I = 0,4[133,1 + 20,2] = 61,3 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{II} = 1,25[532,5 + 40,5] = 716 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{III} = 0,7[2375,3 + 88,8] = 1725 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{\Sigma} = \Delta p_I + \Delta p_{II} + \Delta p_{III} = 2,5 \text{ kPa} = 25 \text{ mbar}$$

Az adatok segítségével megszerkezhető a Michau-diagram (28. ábra):



28. ábra: Többrétegű mélységű szűrő Michau diagramja

II.2.8.3. Milyen nyomáskülönbség szükséges 1 cm vastagságú 1 m² felületű szűrőréteg (d₃₂ = 5 μm; ε = 50 %) esetén 1 l/s víz szűréséhez (η = 0,001 Pas; ρ = 10³ kg/m³). És milyen átteresztőképességgel rendelkezik ez a réteg?

A szükséges átáramlási, átszűrődési sebesség:

$$\bar{v} = \dot{V} / A = 10^{-3} \text{ m/s}$$

A nyomáskülönbség számításához ismerni kell a szűrőszemcsékre jellemző Re-számot:

$$\text{Re}_{sz} = \bar{v} \cdot \frac{d_{32} \cdot \rho}{\eta} = 10^{-3} \cdot \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3}{10^{-3}} = 5 \cdot 10^{-3}$$

A $\text{Re}_{sz} < 3$, így a nyomáskülönbség a Kozeny – Carman egyenlettel számítható:

$$\Delta p = L \cdot k(\varepsilon) \cdot \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot S_v^2 \cdot \eta \cdot \bar{v}$$

S_v : fajlagos felület = 6/d₃₂, mellyel

$$\Delta p = 36 \cdot L \cdot k(\varepsilon) \cdot \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\eta \cdot \bar{v}}{d_{32}^2}$$

A $k(\varepsilon) = 4$ értéket felvéve, ($\varepsilon = 0,3 - 0,65$ között a $k(\varepsilon)$ függőség nagyon kicsi, általánosan 4-nek felvehető!) a behelyettesítéseket elvégezve:

$$\Delta p = 36 \cdot 10^{-2} \cdot 4 \cdot \frac{(1-0,5)^2}{0,5^3} \cdot \frac{10^{-3} \cdot 10^{-3}}{(5 \cdot 10^{-6})^2} = 144 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot \frac{0,04 \cdot 10^{-6}}{10^{-12}} = 11,52 \cdot 10^4 =$$

$$= 1,15 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,15 \text{ bar}$$

Az áteresztőképesség B , többféleképpen számítható:

Kozeny – Carman egyenlettel:

$$B = \frac{d_{32}^2}{36 \cdot k(\varepsilon)} \cdot \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} = \frac{(5 \cdot 10^{-6})^2}{36 \cdot 4} \cdot \frac{0,5^3}{(1-0,5)^2} = 8,68 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$$

A Darcy – egyenlettel:

$$B = \frac{\eta \cdot \bar{v}}{\Delta p} \cdot L = \frac{10^{-3} \cdot 10^{-3}}{1,15 \cdot 10^5} \cdot 10^{-2} = 0,869 \cdot 10^{-13} = 8,69 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$$

Azaz a kétféleképpen számolt áteresztőképesség érték megegyezik!

II.2.8.4. Mélységi szűrőtartály méretezés

Szűrendő vízmennyiség: $Q = 480 \text{ m}^3 / \text{h} = 11500 \text{ m}^3 / \text{d}$

Lebegőanyag tartalma: 20 mg/l

Szűrőközeg: homok $x = 1 - 2 \text{ mm}$

Szűrőréteg vastagság: 1,3 m (felvett adat)

Szűrési sebesség: 6 m/h

Szükséges szűrőfelület:

$$F_{sz} = \frac{Q}{v} = \frac{480 \text{ m}^3 / \text{h}}{6 \text{ m} / \text{h}} = 80 \text{ m}^2$$

Szakirodalomból választva 6 db $\varnothing 4500 \text{ mm}$ -es szűrőtartály javasolható.

Egy szűrőn megszűrt folyadék mennyiség: $80 \text{ m}^3 / \text{db}, \text{h}$ és így a szűrési sebesség:

$$v_t = \frac{Q}{A_1} = \frac{80}{15,9} \approx 5,03 \text{ m} / \text{h}$$

Egy szűrőt kivéve (öblítés miatt), az öt szűrővel történő szűrésnél az egy szűrőre jutó folyadék mennyiség:

$$q = \frac{Q}{5} = \frac{480 \text{ m}^3 / \text{h}}{5 \text{ db}} = 96 \text{ m}^3 / \text{h}$$

és a szűrési sebesség pedig:

$$v = \frac{q}{A_1} = \frac{96 \text{ m}^3 / \text{h}}{15,9 \text{ m}^2} = 6,04 \text{ m} / \text{h}, \text{ mely jó érték!}$$

A leválasztott szilárdanyag mennyiség, feltételezve a 100 %-os leválasztást ($x > 0,45 \mu\text{m}$):

$$M_h = \frac{Q \cdot c}{F} = \frac{480 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 20 \text{ g} / \text{m}^3}{6 \cdot 15,9 \text{ m}^2} = 100,6 \text{ g} / \text{m}^2 \text{h}$$

A megengedhető terhelés pelyhes anyagok esetén:

$$M_m = 2500 \text{ g} / \text{m}^2$$

Ezek szerint a tényleges szűrés idő, mely szűrési idő után a szűrőközeget regenerálni kell:

$$t_{sz} = \frac{M_m}{M_h} = \frac{2500 \text{ g/m}^2}{100,6 \text{ g/m}^2 \cdot h} \approx 24,8 \text{ óra} \approx 1 \text{ nap}$$

Az ez idő alatt termelt víz egy szűrőn: $1917 \text{ m}^3 \approx 2000 \text{ m}^3$

Ebből az öblítévíz igény szűrőnként kb 3 %, azaz:

$$Q_{öbl} = 2000 \text{ m}^3/\text{ciklus} \cdot 0,03 = 60 \text{ m}^3/\text{ciklus}, \text{db}$$

II.2.8.5. Nyitott mélységi szűrő méretezés

A szürendő vízmennyiség: $Q = 11500 \text{ m}^3/\text{d}$

Szilárdanyag tartalma: $20 \text{ mg/l} = 20 \text{ g/m}^3$

Szűrőközeg: 1 – 2 mm-es homok

Szűrőágy magasság: 1,1 m

Megengedett szűrési sebesség: 5 m/h

Megengedett lebegőanyag terhelés: 2 kg/m^2

Szükséges szűrőfelület:

$$F = \frac{Q}{v} = \frac{480 \text{ m}^3/h}{5 \text{ m/h}} = 96 \text{ m}^2 \approx 100 \text{ m}^2$$

Egy ilyen felület csak több egységből állhat. Az egységek számát úgy kell meghatározni, hogy öblítéskor a maradék (n-1 db) fennakadás nélkül biztosítsa a folyamatos, kellő minőségű fázisszétválasztást.

Az n = 4 db-ot választva, egy szűrőre jutó vízmennyiség:

$$q_1 = \frac{480 \text{ m}^3/h}{4 \text{ db}} = 120 \text{ m}^3/h, \text{db}$$

$$v = \frac{120 \text{ m}^3/h}{25 \text{ m}^2} = 4,8 \text{ m/h}$$

mely biztosítja a megfelelő szűrési hatásfokot.

Ha egy egység öblítés miatt kiesik:

$$q_{1n=3} = \frac{480 \text{ m}^3/h}{3 \text{ db}} = 160 \text{ m}^3/h, \text{db}$$

éa a

$$v = \frac{160 \text{ m}^3/h}{25 \text{ m}^2} = 6,4 \text{ m/h}$$

szűrési sebesség még nem magas a szűrési hatásfok biztosításához, csak ez esetben vízszint emeléssel biztosítani kell a számolt szűrési sebességet.

Nyitott szűrő esetén a szűrési ciklus, ill. a tényleges szűrési idő:

$$t = \frac{2000 \text{ g/m}^2}{100,6 \text{ g/m}^2, h} \approx 20 \text{ h}$$

Az az egy-egy egységet 20 óránként vissza kell öblíteni, tisztítani.

A 20 h alatt szűrt víz mennyiség: 2875 m^3 , és az öblítévíz mennyisége: $86 \text{ m}^3/\text{egység}$ (a szűrlet 3%-a).

II.2.8.6. Szűrési konstansok meghatározása

A laborszűrési paraméterek alapján meghatározandók a szűrési konstansok.

Alapadatok:

A szűrési nyomáskülönbség: $\Delta p = 0,25$ bar

A szűrőfelület: $A = 143$ cm²

A keletkező lepény vastagsága: $L = 2,5$ mm

A folyadék (szűrlet) viszkozitása: $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Pas

A szűrési adatok az 25. táblázatban:

V [cm ³]	t [s]	t/V [s/cm ³]	$\Delta t / \Delta V$ [s/cm ³]
100	100	1,0	1
150	206	1,37	2,12
200	330	1,65	2,48
250	495	1,98	3,30
300	690	2,30	3,90
350	1005	2,87	6,30
400	1255	3,14	5,00
450	1650	3,67	7,90

25. táblázat: Laborszűrési adatok

A szűrőegyenlet:

$$t = a \cdot V^2 + b \cdot V$$

Tovább alakítva:

$$t/V = a \cdot V + b$$

ill.

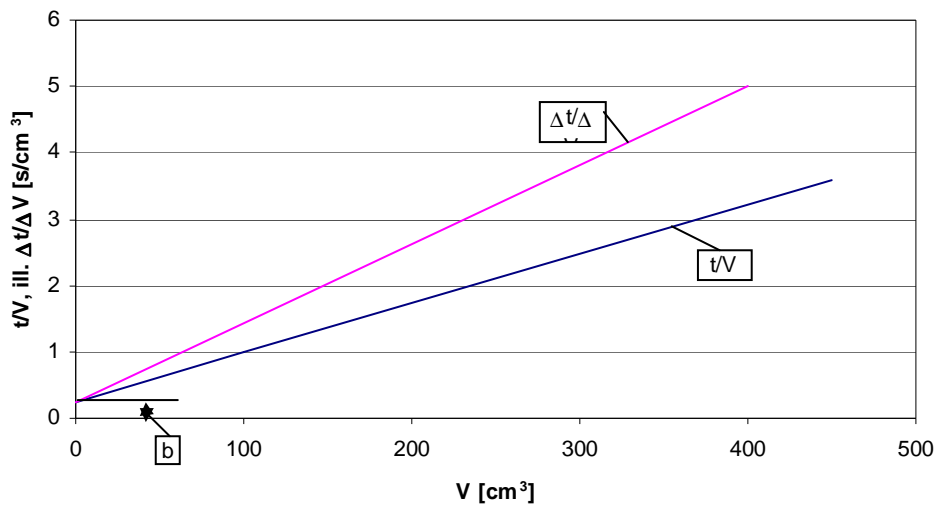
$$\Delta t / \Delta V = 2aV + b$$

ahol

b: tengelymetszet szűrőállandó, a szűrőberendezés hidraulikus ellenállásával arányos konstans

a: a szűrési görbe meredekségére jellemző konstans, mely a szűrőlepény fajlagos ellenállásával arányos és a szűrési teljesítménnyel fordítottan arányos konstans

Az a és b meghatározása grafikus módszerrel történhet (29. ábra)



29. ábra: Az a és b szűrési konstansok meghatározása grafikus módszerrel

Az ábra alapján a és b konstans értékei:

$b = 0,24 \text{ s/cm}^3$ (mindkét szűrési görbe és az y -tengely metszés pontja).

Az a érték az egyenesek hajlásszögének tangense, azaz:

$$a = \frac{\frac{\Delta t}{V}}{\Delta V} = \frac{3,6 - 1}{450 - 100} = \frac{2,6}{350} = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ s/cm}^6$$

illetve

$$2a = \frac{\frac{\Delta \Delta t}{\Delta V}}{\Delta V} = \frac{3,9 - 1,0}{300 - 100} = \frac{2,9}{200} = 0,0145 \text{ s/cm}^6,$$

amelyből

$$a = \frac{0,0145}{2} = 7,25 \cdot 10^{-3} \text{ s/cm}^6$$

Azaz a két szűrési görbe alapján számolt a érték közel ugyanaz.

A b konstans segítségével számítható a szűrőszövet ellenállása (β):

$$\beta = b \cdot \frac{A \cdot \Delta p}{\eta} = 0,24 \frac{\text{s}}{\text{cm}^3} \cdot 10^6 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}^3} \cdot \frac{143 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 0,25 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{10^{-3} \text{ Pas}} = 8,58 \cdot 10^{10} \text{ 1/m}, \text{ és}$$

$$\alpha \cdot \chi = a \cdot \frac{2 \cdot A^2 \cdot \Delta p}{\eta}, \text{ ha } \Delta p = \text{konstans}$$

ahol

α : fajlagos szűrőlepeny ellenállás

χ : szilárdanyag és a szűrlet arány

$$\alpha \cdot \chi = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ s/cm}^6 \cdot \frac{10^{12} \text{ cm}^6}{\text{m}^6} \cdot 2 \cdot \frac{(143 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2)^2 \cdot 0,25 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{10^{-3} \text{ Pas}} = 7,56 \cdot 10^{13} \text{ m}^{-2}$$

Ebből:

$$\alpha_v = \frac{\alpha \cdot \chi}{\chi_v}$$

az χ_v a lepény térfogat és szűrlet térfogat aránya

$$\chi_v = \frac{A \cdot L}{V_F} = \frac{143 \text{ cm}^2 \cdot 0,25 \text{ cm}}{450 \text{ cm}^3} = 0,07944$$

Tehát

$$\alpha_v = \frac{7,56 \cdot 10^{13}}{7,944 \cdot 10^{-2}} = 9,52 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-2}$$

ill.

$$\alpha_m = \frac{\alpha_v}{\rho} \text{ m/kg},$$

a lepény szilárdanyagának sűrűsége ismeretében meghatározható.

II.2.8.7. Számoljuk ki a vákuum-dobszűrő fordulatszámát, valamint a szükséges szűrőfelületet az alábbi adatok ismeretében:

A szuszpenzió szilárdanyagának sűrűsége: $\rho_{sz} = 2700 \text{ kg/m}^3$

A szűrlet sűrűsége: $\rho_f = 1000 \text{ kg/m}^3$

viszkozitása: $\eta = 0,001 \text{ Pas}$

A szuszpenzió szilárdanyag tartalma: $c = 300 \text{ g/l}$

Lepényporozitás: $\varepsilon = 0,5$

Lepényellenállás: $\alpha_m = 7,9 \cdot 10^9 \text{ m/kg}$

Dob bemerülési szög: $\varphi = 126^\circ$

Szűrési nyomáskülönbség: $\Delta p = 0,6 \text{ bar} = \text{const.}$

A szűrő szilárdanyag teljesítménye: $2,8 \text{ t/h}$

A képződő lepény vastagsága: $L = 1,5 \text{ cm}$

A fordulatszám $\Delta p = \text{konstans}$ esetén:

$$n = \frac{2 \cdot \Delta p}{\eta \cdot \alpha \cdot \chi} \cdot \frac{\varphi}{360^\circ} \cdot \left(\frac{\chi_v}{L} \right)^2$$

$$\alpha \cdot \chi = \alpha_m \cdot \chi_m$$

a szűrőlepény és a szűrlet arány:

$$\chi_m = \frac{c_m}{\rho_{sz} - c_m} \cdot \rho_{sz} = 2700 \cdot \frac{300}{2700 - 300} = 337,5 \text{ kg/m}^3$$

Szűrőlepény és szűrlet térfogatarány:

$$\chi_v = \frac{c_m}{(\rho_{sz} - c_m)(1 - \varepsilon)} = \frac{300}{(2700 - 300) \cdot 0,5} = 0,25$$

Ezek ismeretében az $\alpha \cdot \chi = \alpha_m \cdot \chi_m$

$$\alpha \cdot \chi = 7,9 \cdot 10^9 \text{ m/kg} \cdot 337,5 \text{ kg/m}^3 = 2,666 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-2}$$

És a szükséges dob fordulatszám a behelyettesítés után:

$$n = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 10^5}{10^{-3} \cdot 2,666 \cdot 10^{12}} \cdot \frac{126}{360} \cdot \left(\frac{0,25}{0,015} \right)^2 = 0,45 \cdot 10^{-4} \cdot 0,35 \cdot 277,8 = 43,75 \cdot 10^{-4} \text{ 1/s} = 0,2625 \text{ min}^{-1}$$

A szükséges szűrőfelület az alábbi összefüggésből kifejezhető:

$$\dot{m}_k = L \cdot A \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho_{sz} \cdot n$$

$$A = \frac{\dot{m}_k}{L \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho_{sz} \cdot n} = \frac{2800 / 60}{0,015 \cdot 0,5 \cdot 2700 \cdot 0,2625} = 8,78 \text{ m}^2$$

A szűrődob szélessége (hossza) L_{sz} legyen 1,5 m, és a szűrődob átmérője pedig fix szűrővásznon mellett:

$$D = \frac{A}{\pi \cdot L_{sz}} = \frac{8,78}{\pi \cdot 1,5} = 1,86 \text{ m}$$

A keletkező szűrlet mennyisége:

$$q_{szűrlet} = \frac{L \cdot n}{\chi_v} = \frac{0,015 \cdot 0,2625}{0,25} = 0,01575 \text{ m}^3 / \text{min} = 0,945 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$Q_{szűrlet} = q \cdot A = 8,78 \cdot 0,945 = 8,3 \text{ m}^3 / \text{h}$$

A szűrt szuszpenzió térfogatárama:

$$Q_{szuszp} = Q_{szűrlet} + Q_{lepény} = Q_{szűrlet} (1 + \chi_v)$$

$$Q_{szuszp} = 8,3 \cdot 1,25 = 10,37 \text{ m}^3 / \text{h}$$

II.2.8.8. Meghatározandó a vákuum-dobszűrő optimális szűrési teljesítményt biztosító paraméterei.

A meghatározás laboratóriumi kísérlettel, annak értékelésével történhet.

Szűrendő szuszpenzió: szén iszap, $c = 400 \text{ g/l}$

Laborkísérleti paraméterek: Lefutóvásznas, sajátsegédlepényes szűrést modellezve:

Szűrőfelület: $A = 36 \text{ cm}^2$

Szűrési nyomáskülönbség: $\Delta p = 0,5 \text{ bar}$

Szűrési segédanyag: Sedipur TF2; 24 mg/l

A szűrési kísérletek adatainak értékelése az alábbiak szerint történik:

Átlagos szűrési sebesség:

$$v = \frac{V_i}{A \cdot t_i}, \text{ ahol}$$

V_i : víztelenített szuszpenzió térfogata

t_i : a V_i szuszpenzió szűréséhez szükséges szűrési idő.

Fajlagos szűrési teljesítmény:

$$q = v \cdot \alpha, \text{ ahol}$$

α : a szűrőfelület kihasználási tényező, a szűrődob bemerülési mértéke.

A szűrési ciklus idő:

$$T = \frac{t_i}{\alpha}$$

A dob fordulatszám:

$$n = \frac{1}{T} = \frac{\alpha}{t_i}$$

A szűrés teljesítménye, a szűrőlepeny nedvességtartalmának alakulása függ a szűrődob bemelegülésének mértékétől, a lepeny leszedés helyétől.

A dobmelegülés mértéke függ az egy dobfordulat alatt szűrt szuszpenzió mennyiségétől, és felírható:

$$\alpha = \frac{1 + \frac{\beta}{180} + \frac{2t_3}{t_2} \cdot \frac{c}{C}}{1 + \frac{2t_3}{t_2}}, \text{ ahol}$$

β : a szűrőlepeny leszedés helyét meghatározó középponti szög (a szűrődob függőleges sugarához képest)

t_3 : A lepenyszáradás időtartama

$t_2 = t_i$: szűrés idő

c : a dobszűrő celláinak száma (cellás szűrőnél)

C : előlepenyes szűrés esetén az előlepeny felhordásához tartozó cellák száma

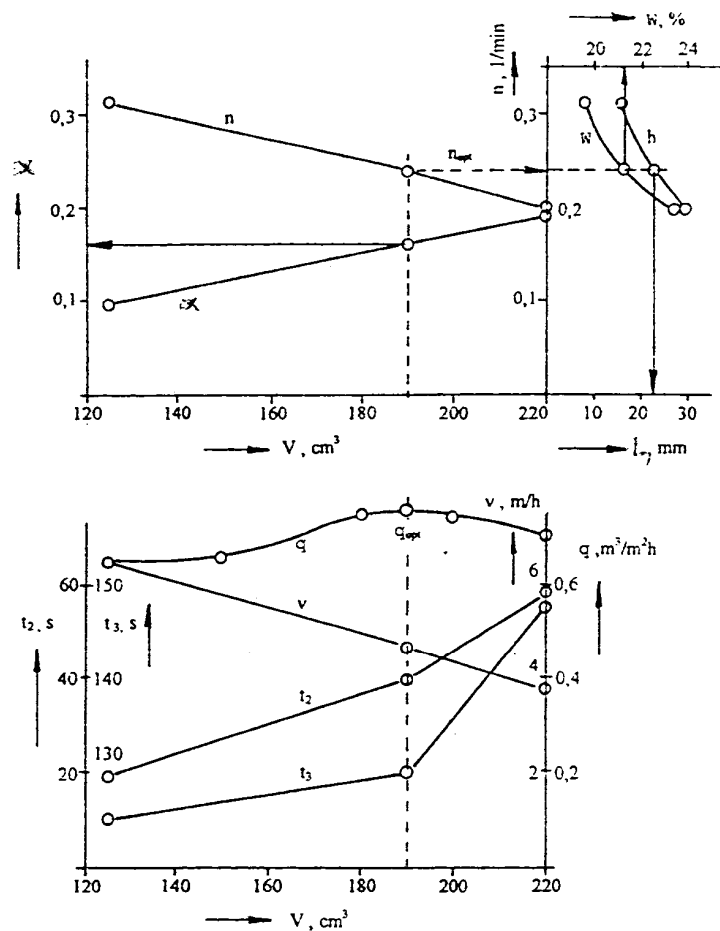
Lefutóvázsnas sajátsegédlepenyes szűrésnél a $\beta = 0$; $c = 1$; $C = 32$ -vel számolva

$$\alpha = \frac{1 + \frac{2t_3}{t_2} \cdot \frac{c}{C}}{1 + \frac{2t_3}{t_2}} = \frac{1 + \frac{2t_3}{t_2} \cdot \frac{1}{32}}{1 + \frac{2t_3}{t_2}}$$

A laboratóriumi kísérletet elvégezve, a mért és számított paraméterek a 26. táblázatban találhatóak.

Szűrt szuszpenzió térfogat V_i [ml]	Szűrés idő $t_i - t_2$ [s]	Lepény száradási idő t_3 [s]	Lepény		Szűrés sebesség v_i [m/h]	α	Szűrés teljesítmény q [m ³ /m ³ h]	Dob fordulatszám
			Vastagság L [mm]	Nedvesség w [%]				
125	19	125	16	19,6	6,513	0,0996	0,649	0,314
190	40	130	23	21,3	4,702	0,1604	0,7543	0,241
220	58	146	30	23,6	3,755	0,1899	0,7133	0,196

26. táblázat: Laboratóriumi kísérleti eredmények



30. ábra: A szűrési paraméterek számított értékeinek változása a szűrlettérfogat függvényében

A vizsgált, szürendő szénkoncentrátum optimális szűrési paraméterei az a 25. ábrából leolvassa:

$$\alpha = 0,15$$

$$n = 0,24 \text{ min}^{-1}$$

A várható szűrési teljesítmény: $q = 0,76 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$

A kialakuló lepény vastagsága: $L = 23 \text{ mm}$

Nedvességtartalma: $w = 21,3 \%$

Az optimális paramétereket a szűrési nyomáskülönbség, a szuszpenzió szilárdanyag tartalma, annak szemcseeloszlása, kompresszibilis jellege, a szűréshez történő előkezelés befolyásolja.

II.2.8.9. Számítások kamrás prösszűrőre

Egy $A = 1,2 \text{ m}^2$ -es kamrás prösszűrővel végzett kísérlet eredménye: $t_{sz} = 25 \text{ min}$ alatt $V_{sz} = 400 \text{ l}$ szűrlet és $V_L = 24 \text{ l}$ szűrőlepény keletkezett, miközben a nyomáskülönbség (Δp) lineárisan $0,05 \text{ barról} \rightarrow 4 \text{ barra}$ emelkedett.

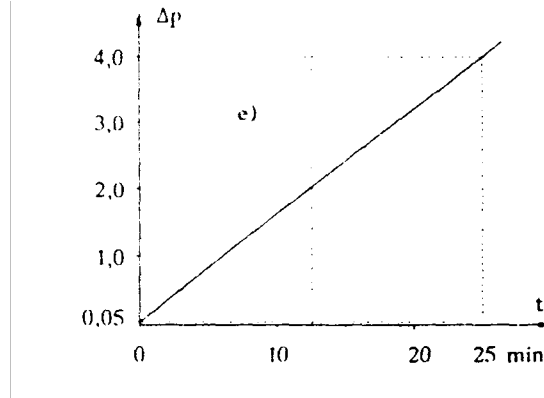
A szűrlet dinamikus viszkozitása, $\eta = 4 \text{ mPas}$, míg sűrűsége, $\rho = 1100 \text{ kg/m}^3$.

Meghatározandó a szűrési sebesség, a szűrési konstansok, értékelendő a szűrőközeg ellenállása, a szuszpenzió szűrhetősége, a szűrési teljesítmény (a ciklusonkénti holtidő 5 min).

A szűrési sebesség:

$$v = \frac{V}{A \cdot t} = \frac{400}{1,2 \cdot 25} = 13,3 \frac{l}{m^2 \cdot \text{min}} = 2,22 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{m^2 \cdot s} = 0,799 \frac{m^3}{m^2 \cdot h}$$

A szűrési konstansok meghatározása a szűrési görbe segítségével történhet:



31. ábra: A nyomásváltozás a szűrési idő függvényében

$$b_0 = 0,05 \text{ bar} = 0,05 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$b_1 = \frac{\Delta(\Delta p)}{\Delta t} = \frac{(4 - 0,05) \cdot 10^5 \text{ Pa}}{25 \cdot 60 \text{ s}} = 2,63 \cdot 10^2 \text{ Pa/s}$$

A szűrőközeg ellenállása:

$$\beta = b_0 \cdot \frac{A}{\eta \cdot \dot{V}} = b_0 \cdot \frac{A \cdot t_{sz}}{\eta \cdot V_{sz}} = 0,05 \cdot 10^5 \cdot \frac{1,2 \cdot 60 \cdot 1000}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 400} = 5,62 \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$$

A szűrőközeg ellenállása (mint műanyag szűrőszövet) relatív nagy az alábbi táblázat szerint:

Filtermittel	β in m^{-1}
Polyamid (Leinwandgewebe)	$7 \cdot 10^8 - 5 \cdot 10^9$
Filterpapiere	$7,6 \cdot 10^9 - 5 \cdot 10^{11}$
Nadelfilze	$5 \cdot 10^6 - 7 \cdot 10^8$
Keramikfilter	$1,6 \cdot 10^8 - 1 \cdot 10^9$

27. táblázat: Néhány szűrőszövet ellenállásadatai szakirodalmak szerint

A szűrőlepeny fajlagos ellenállása:

$$\alpha \cdot \chi = b_1 \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \left(\frac{A \cdot t_{sz}}{V_{sz}} \right)^2 = 2,63 \cdot 10^2 \cdot \frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot \left(\frac{1,2 \cdot 25 \cdot 60 \cdot 1000}{400} \right)^2 =$$

$$= 0,6575 \cdot 10^5 \cdot 4,5^2 \cdot 10^6 = 1,33 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-2}$$

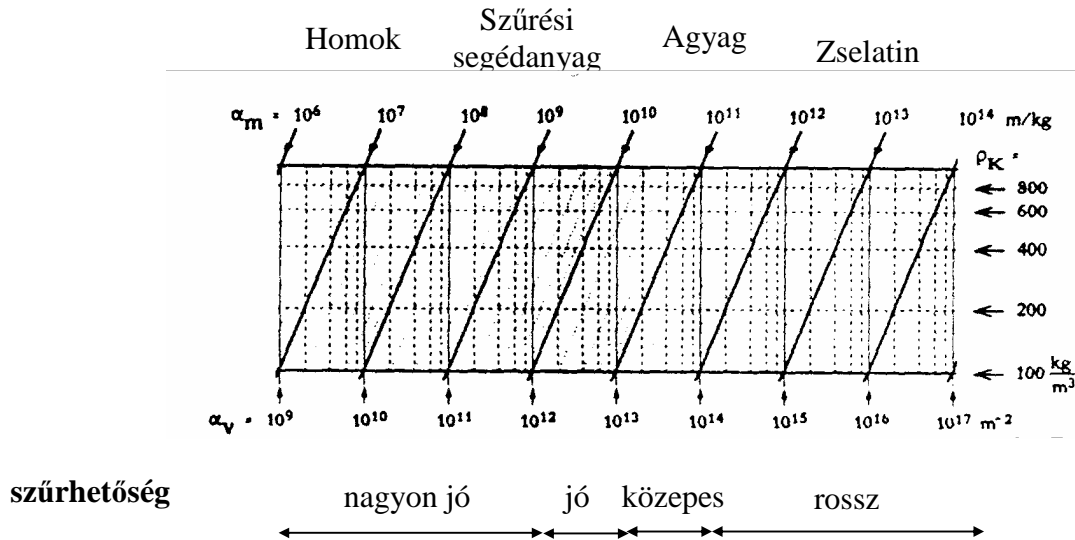
A lepeny és a szűrlet térfogat aránya:

$$\chi_v = \frac{V_k}{V_{sz}} = \frac{24}{400} = 0,06$$

és az α_v lepeny fajlagos ellenállása:

$$\alpha_v = \frac{\alpha \cdot \chi}{\chi_v} = \frac{1,33 \cdot 10^{12}}{0,06} = 2,22 \cdot 10^{13} \text{ m}^{-2}$$

e fajlagos ellenállás szerint a szűrt szuszpenzió közepesen szűrhető a 32. ábra szakirodalmi adatai alapján.



32. ábra : A lepényellenállások és a szűrhetőség kapcsolata. $\left(\alpha_m = \frac{\alpha_v}{\rho_k} \right)$

A szűrési teljesítmény:

$$q_{sz} = \frac{V_{sz}}{A \cdot \Sigma t} = \frac{V_{sz}}{A \cdot (t_{sz} + t_h)} = \frac{0,4 \text{ m}^3}{1,2 \cdot 0,5 \text{ m}^3 \cdot h} = 0,667 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot h}$$

II.2.8.10. Szalagszűrő haladási sebessége

A víztelenítendő iszap mennyisége: $Q = 700 \text{ m}^3/\text{d}$, és $n = 2$ db szalagprésszűrő üzemel. Szélessége: $B = 1 \text{ m}$, hosszúsága: $L = 10 \text{ m}$. a keletkező szűrőlepény vastagság, azaz a szalagprések távolsága: $d = 30 \text{ mm}$.

A szalagprésszűrők hasznos térfogata, mely víztelenítésre szolgál:

$$V = n \cdot B \cdot L \cdot d = 2 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 0,03 = 0,6 \text{ m}^3$$

Az adatokból adódó, számított tartózkodási idő:

$$t_i = \frac{V}{Q} = \frac{0,6 \text{ m}^3}{8,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}} = 74 \text{ s}$$

A szalagszűrő haladási sebessége:

$$v = \frac{L}{t_i} = \frac{10 \text{ m}}{74 \text{ s}} = 0,135 \text{ m/s}$$

A haladási sebesség megfelelő az egyéb szűrőparaméterekkel együtt, ha az iszap víztelenítése az adott idő alatt végbemegy. Amennyiben a lepény még további víz leadására képes, a víztelenítési időt növelni, azaz a szalag haladási idejét csökkenteni kell.

Példák a centrifugák paramétereinek meghatározására

II.2.8.11. Egy csöves ülepítő centrifuga üzemi adatai:

Hossza: $L = 750 \text{ mm}$

Belső átmérője: $2r_z = 105 \text{ mm}$

Túlfolyócsonk átmérője: $2r_e = 30 \text{ mm}$

Munka térfogata: $V = 6,3 \text{ l}$

Teljesítménye: $\dot{Q} = 750 \text{ l/h}$

Fordulatszám: $n = 15000 \text{ min}^{-1}$

Határozzuk meg a centrifuga jellemzőit!

A centrifuga szögsebessége:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot 15000/60 = 1571 \text{ s}^{-1}$$

A centrifuga jelzőszám:

$$z = r_z \cdot \frac{\omega^2}{g} = \frac{0,105 \cdot 1571^2}{2 \cdot 9,81} = 13208$$

A centrifuga jelzőszám a túlfolyócsonk átmérőjével:

$$z_R = r_r \cdot \frac{\omega^2}{g} = \frac{0,03 \cdot 1571^2}{2 \cdot 9,81} = 3773$$

A szétválasztófelület magassága:

$$A_R = 2\pi \cdot r_R \cdot L_{\text{eff}} = 2\pi \cdot r_R \cdot 0,8 \cdot L = \pi \cdot 0,03 \cdot 0,8 \cdot 0,75 = 5,65 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

A felületi terhelés:

$$T_f = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{0,750 \text{ m}^3 / \text{h}}{0,0565 \text{ m}^2} = 13,3 \text{ m/h} = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Az elválasztási szemcseméret:

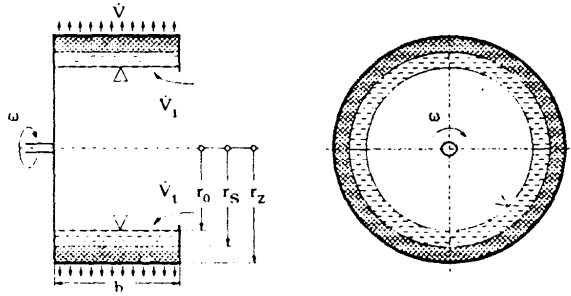
$$d_t = \sqrt{\frac{18\eta}{\Delta\rho \cdot g} \cdot \frac{T_f}{z_R}}$$

$$\Delta\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta = 10^{-3} \text{ Pas (víz, } 20 \text{ °C-on)}$$

$$d_t = \sqrt{\frac{18 \cdot 10^{-3}}{1000 \cdot 9,81} \cdot \frac{3,7 \cdot 10^{-3}}{3773}} = \sqrt{\frac{66,6 \cdot 10^{-6}}{37,01 \cdot 10^6}} = \sqrt{1,7995 \cdot 10^{-12}} = 1,34 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,34 \text{ }\mu\text{m}$$

II.2.8.12. Az alábbi szűrőcentrifuga és centrifugálás főbb működési paramétereit a következők:



33. ábra: Egy szűrőcentrifuga vázlata, főbb paramétereit

$$2r_z = 1000 \text{ mm} = 1 \text{ m}$$

$$b = 400 \text{ mm} = 0,4 \text{ m}$$

$$r_0 = 0,40 \text{ m}$$

$$r_s = 0,45 \text{ m}$$

$$\text{fordulatszám: } n = 1200 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{lepény fajlagos ellenállás: } \alpha_v = 10^{13} \text{ m}^{-2}$$

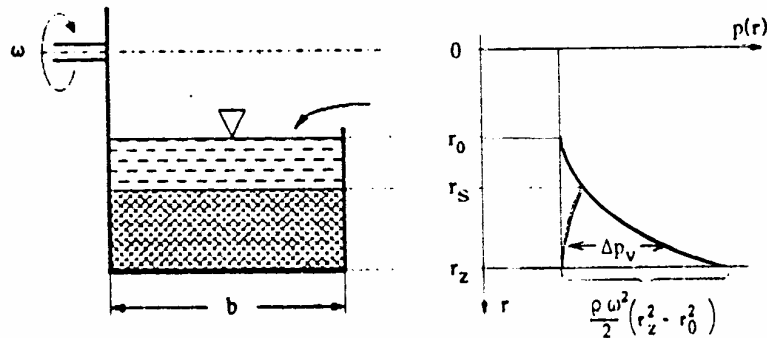
$$\text{Szűrőközegellenállás: } \beta = 10^{10} \text{ m}^{-1}$$

$$\text{Szűrlet sűrűség: } \rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta = 10^{-3} \text{ Pas}$$

Szögsebesség:

$$\omega = 2\pi \cdot n = 2\pi \cdot \frac{1200}{60} \approx 125,7 \text{ s}^{-1}$$



34. ábra: A nyomásviszonyok alakulása a centrifugánál a sugár függvényében

A kialakuló nyomáskülönbség a szűrőközegnél:

$$\Delta p_z = \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} \cdot (r_z^2 - r_0^2) = \frac{10^3 \cdot 125,7^2}{2} \cdot (0,5^2 - 0,4^2) = 7,11 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 7,11 \text{ bar}$$

A szűrődob felülete:

$$A_z = 2\pi \cdot r_z \cdot b = 2\pi \cdot 0,5 \cdot 0,4 = 1,26 \text{ m}^2$$

A szűrőcentrifugára történő feladás térfogatárama:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= A_z \cdot \frac{\Delta p_z}{\eta \left(\alpha_v \cdot r_z \cdot \ln \frac{r_z}{r_s} + \beta \right)} = 1,26 \cdot \frac{7,11 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{10^{-3} \left(10^{13} \cdot 0,5 \cdot \ln \frac{0,5}{0,45} + 10^{10} \right)} = \\ &= 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s} \\ \dot{Q} &\approx 6 \text{ m}^3 / \text{h}\end{aligned}$$

A centrifuga feldolgozó képessége (térfogatárama), $Q \approx 6 \text{ m}^3/\text{h}$. Az összefüggésből természetes, ha az α_v vagy β ismeretlen, az kiszámítható megfelelő átrendezéssel.

II.2.9. Biológiai szennyvíztisztítással kapcsolatos méretezési számítások

A biológiai szennyvíztisztítási technológiáknak a vízben levő szervesanyagok lebontására, mineralizálására szolgálnak, közel optimális paraméterek mellett.

II.2.9.1. Egyenérték, mértékadó szennyvízhozam számítás

Egy $L = 200\,000$ fős város szennyvíztisztítójára $Q = 60\,000\text{ m}^3/\text{d}$ szennyvíz érkezik. Ennek BOI_5 koncentrációja: $c_{\text{BOI}_5} = 300\text{ mg/l}$. A bemenő vízből az ipari szennyvízhozam $Q_i = 15\,000\text{ m}^3/\text{d}$ és szennyezőanyaga: $c_i = 10\,000\text{ kg/d}$.

A telep hidraulikus lakos egyenértéke, feltételezve, hogy a fajlagos fogyasztás $le_h = 0,15\text{ m}^3/\text{fő.d}$:

$$Le_h = \frac{Q}{le_h} = \frac{60000}{0,15} = 400000\text{ fő}$$

A BOI_5 terhelés alapján számítható lakosegyenérték, ha $le_{\text{BOI}_5} = 60\text{ g/fő.d}$:

$$Le_{\text{BOI}_5} = \frac{Q \cdot c_{\text{BOI}_5}}{le_{\text{BOI}_5}} = \frac{60000 \cdot 300}{60} = 300000\text{ fő}$$

Tényleges fajlagos kommunális lakosegyenérték (hidraulikai):

$$le_{ht} = \frac{Q - Q_i}{L} = \frac{60000 - 15000}{200000} = 0,225\text{ m}^3 / \text{fő}$$

A kommunális eredetű szennyeződés tényleges BOI_5 fajlagos értéke:

$$c_{\text{BOI}_{5t}} = \frac{Q \cdot c_{\text{BOI}_5} - c_i}{L} = \frac{60000 \cdot 300 - 10000 \cdot 1000}{200000} = 40\text{ g / fő, d}$$

A mértékadó óracsőcs szennyvízhozam:

$$Q_{csh} = Q_d \cdot z$$

ahol z : óracsőcsstényező, melynek értéke függ a lakosszámtól, (28.táblázat)

Lakosság [LE], ill. [fő]	Egyenőtlenségi tényezők	
	Óracsőcs „z”	Nappali óracsőcs „z ₁ ”
500 – 1000	1/8 – 1/10	1/13 – 1/15
1000 – 2500	1/10 – 1/12	1/15 – 1/17
2500 – 3000	1/11 – 1/13	1/15 – 1/17
3000 – 10000	1/12 – 1/14	1/16 – 1/18
10000 – 20000	1/14 – 1/16	1/18 – 1/19
20000 – 80000	1/16 – 1/18	1/19 – 1/20
80000 – 200000	1/17 – 1/18	1/19 – 1/21
> 1000000	1/18 – 1/20	1/20 – 1/22

28. táblázat: Óracsőcs értékei a lakosság ill. LE függvényében

200000 lakos esetén a $z = 1/18$. És ezáltal a

$$Q_{csh} = Q \cdot \frac{1}{18} = \frac{60000}{18} = 3333\text{ m}^3 / \text{h}$$

Néhány vízszennyező fajlagos értéke a szakirodalmak szerint (29.táblázat)

Paraméter	Dimenzió	Fajlagos érték
Szennyvízhozam	l/fő.d	200*
KOI	g/fő.d	120
BOI ₅	g/fő.d	60
Ö N	g/fő.d	12
Ö P	g/fő.d	2**

*A hazai értékek 80-300 l/fő.d értékek között szólnak

**A hazai értékek a mosóporhasználatától függően 2-5 g/fő.d közöttiek.

29. táblázat: Szennyvíz- és szennyezőanyag-produkció fajlagos értékei

II.2.9.2. Eleveniszap jellemzőinek meghatározása

Mohlmann-index:

Az eleveniszapos biológiai medencében az iszapkoncentráció, $G_L = 3,1$ g/l. Az 1 literes mérőhengerben a $t = 30$ perces ülepítés után az iszap térfogat: $V_i = 310$ ml.

$$I_M = \frac{V_{i30}}{G_L} = \frac{310}{3,1} = 100 \text{ ml / g}$$

A recirkuláltatott iszap koncentrációja:

$$G_R = \frac{1000}{I_M} = \frac{1000}{100} = 10 \text{ g / l}$$

Az eleveniszap pehely sűrűsége:

A víz sűrűsége: $\rho_v = 1000 \text{ kg/m}^3$

kinematikai viszkozitása: $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

A pehely átmérője: $d_p = 1,5 \text{ mm} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

üledési sebessége: $v_{\ddot{u}} = 0,52 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$

$$\rho_p = \rho_v \left(\frac{2}{3} \cdot v_{\ddot{u}}^2 \cdot \frac{c_v}{g \cdot d_p} + 1 \right)$$

A c_v és a Re (az üledésre jellemző Reynolds-szám) függvénye:

$$Re = \frac{d_p \cdot v_{\ddot{u}}}{\nu} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,52 \cdot 10^{-2}}{1,31 \cdot 10^{-6}} = 0,6 \cdot 10 = 6$$

ha $0,5 > Re > 10^4$, akkor:

$$c_v = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$$

$$c_v = \frac{24}{6} + \frac{3}{\sqrt{6}} + 0,34 = 4 + 1,22 + 0,34 = 5,56$$

és ρ_p :

$$\rho_p = 1000 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 0,52^2 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{5,56}{9,81 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}} + 1 \right)$$

$$\rho_p = 1000 \cdot \left(0,068 \cdot \frac{10^{-4}}{10^{-3}} + 1 \right) = 1000 \cdot 1,0068 = 1006,8 \text{ kg / m}^3$$

Recirkuláció-vízhozam arány:

$$R_Q = \frac{Q_R}{Q_V} = \frac{V_{i30}}{1000 - V_{i30}}, \text{ ill.}$$

, ahol

$$R_Q = \frac{G_L}{G_R - G_L}$$

Q_R : a recirkuláltatott iszap hozama

Q_V : a tisztítandó víz hozama

Behelyettesítve:

$$R_Q = \frac{V_{i30}}{1000 - V_{i30}} = \frac{310}{1000 - 310} = 0,449$$

azaz 44,9 %-os a recirkuláció aránya, ill.

$$R_Q = \frac{G_L}{G_R - G_L} = \frac{3,1}{10 - 3,1} = 0,449, \text{ azaz } 44,9\%$$

Iszapkor:

$$I_K = \frac{\text{Az eleveniszapos medencében levő (szükséges) szervesanyag}}{\text{A naponta keletkező szerves iszap mennyiség}} = \frac{V \cdot X_i}{F_i \cdot V}, \text{ ahol:}$$

V : az eleveniszapos medence, reaktor térfogat

X_i : a reaktorban levő szuszpenzió szerves lebegőanyag tartalma

F_i : a keletkező fölösiszap mennyisége

$$V = 6000 \text{ m}^3$$

$$X_i = 2 \text{ kg/m}^3$$

$$F_i = \quad \quad \quad = \quad \quad \quad 0,66 \quad \quad \quad \text{kg/m}^3 \cdot \text{d}$$

$$I_K = \frac{6000 \cdot 2}{0,66 \cdot 6000} = 3,03 \text{ d}$$

II.2.9.3. A kiindulási adatokból meghatározandó az eleveniszapos szennyvíztisztítási reaktor térfogata, a technológia fontosabb paraméterei.

A kiindulási adatok:

Szennyvízhozam: $Q = 50000 \text{ m}^3/\text{d}$

BOI_5 koncentráció: $S_0 = 240 \text{ mg/l}$ (előülepítés után)

BOI_5 koncentráció: $S_e = 20 \text{ mg/l}$ (biológiai tisztítás után)

Csúcs vízhozam tényező: $z = 18 \text{ h/d}$

A medence tartalmának szerves lebegőanyag tartalma: $X_1 = 2,5 \text{ kg/m}^3$

Lebontási konstans (lab. mérésből): $k = 0,03 \text{ l/mg} \cdot \text{d} = 1,25 \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{h}$ (egyébként 35. táblázat)

k_r^s , szubsztrátum oxigénigény konstans = 0,55 (városi szennyvízre)

k_r^e , fajlagos endogén légzési sebesség = 0,09 1/d (városi szennyvízre)

S_{A0} : ammónia tartalom a befolyó szennyvízben = 250 mg/l

S_{Ae} : ammónia tartalom a tisztított vízben = 5 mg/l

α_{oc} : $\text{OC}_{\text{szennyvíz}}/\text{OC}_{\text{tisztavíz}}$, azaz a szennyvíz és tisztavíz oxigénfelviteli képességének hányadosa, függ a levegőztetés módjától is = 0,8 (felvéve)

CO_{2S} : oxigéntelítési koncentráció, függ a víz, szennyvíz sótartalmától,

hőmérsékletétől = 9 mg/l

CO_{2X} : oldott O_2 állandósult állapotban (a nitrifikáció érdekében minimum 2 mg/l) = 2 mg/l

I_M : Mohlmann-index = 110 ml/g

Az iszap szervesanyag hányada: 0,7

y: képződő sejtömeg/felhasznált szubsztrátum hozam konstans, kg fölösiszap képződés/ 1 kg

BOI₅ = 0,6 (laboratóriumi méréssel meghatározható)

k_e : endogén lebontási sebesség fajlagos értéke = 0,06

(laboratóriumi méréssel meghatározható)

L_i : a szennyvíz inert szervesanyag tartalma = 35 mg/l

L_a : a szennyvíz ásványi lebegőanyag tartalma = 20 mg/l

X₃ : fölösiszap (utóülepítés utáni) koncentrációja (szervesanyag rész)

A szennyvízhozam órai átlag ill. csúcs értékei:

$$q_{\text{át}} = \frac{Q \text{ m}^3 / \text{d}}{24 \text{ h} / \text{d}} = \frac{50000}{24} = 2083 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$q_{\text{csúcs}} = \frac{Q \text{ m}^3 / \text{d}}{z \text{ h} / \text{d}} = \frac{50000}{18} = 2778 \text{ m}^3 / \text{h}$$

A szükséges átlagos tartózkodási idő:

$$t = \frac{S_0 - S_e}{k X_1 \cdot S_e} = \frac{0,24 - 0,02}{1,25 \cdot 2,5 \cdot 0,02} = 3,52 \text{ h}$$

A csúcs vízhozamot figyelembe véve az effektív tartózkodási idő igény:

$$t_{\text{eff}} = \frac{q_{\text{cs}}}{q_{\text{át}}} \cdot t = \frac{2778}{2083} \cdot 3,52 \approx 4,7 \text{ h}$$

Az eleveniszapos reaktor (medence) térfogata:

$$V = Q_{\text{át}} \cdot t_{\text{eff}} = 2083 \cdot 4,7 = 9778,6 \approx 9800 \text{ m}^3$$

A biológiai tisztítás előírt hatásfoka:

$$\eta = \frac{S_0 - S_e}{S_0} = \frac{0,24 - 0,02}{0,24} = 0,917$$

$$\eta = 91,7 \%$$

Szennyvíz	Reakciómodell	Állandók		c	Milyen jellemzőre vonatkozik
		k, 1/mg d	S _{e min.} , mg/l		
Házi	Elsőrendű reakciómodell	0,03	-	-	BOI
Zsírolvasztó		0,035	-	-	BOI
Gyógyszeripari		0,014	-	-	BOI
Vegyipari		0,005	-	-	BOI
Petrokémiai		0,006	-	-	BOI
Kétfokozatú gyógyszeripari szennyvíztisztító:					
I. fokozat		0,02	-	-	BOI
II. fokozat		0,001	-	-	BOI
Házi + textilipari	Maradék BOI modell	0,017	51	-	BOI
Házi (Flensburg)		0,019	10	-	BOI
Házi (Kassel)		0,025	8	-	BOI
Börgyári		0,002	10	-	BOI
Vágóhídi		0,009	20,5	-	BOI
Házi	Maradék KOI modell	0,024	-	0,15	KOI
Hígtrágya (folyadékfázis)		0,0008	-	0,2-0,3	KOI
Cellulózipari		0,001	-	0,13	KOI

30. táblázat: A k lebontási állandó különböző kezelendő szennyvíznél

A reaktor hidraulikai terhelése:

$$T_h = \frac{Q}{V} = \frac{50000 \text{ m}^3 / \text{d}}{9800 \text{ m}^3} = 5,1 \text{ m}^3 / \text{m}^3, \text{d}$$

A reaktor BOI_5 terhelése:

$$T_B = T_h \cdot S_0 = 5,1 \cdot 0,24 = 1,22 \text{ kg} / \text{m}^3, d$$

A baktérium, lebontó mikroszervezetek (szervesiszap) BOI_5 terhelése:

$$T_{Bi} = \frac{T_B}{X_1} = \frac{1,22}{2,5} = 0,49 \text{ kg } BOI_5 / \text{kg iszap}, d$$

Fajlagos lebontási sebesség:

$$v_s = \frac{S_0 - S_e}{X_1 \cdot t_{eff}} = \frac{0,24 - 0,02}{2,5 \cdot 4,7} = 0,019 \frac{\text{kg } BOI_5}{\text{kg iszap}, h} = 0,45 \text{ kg} / \text{kg}, d$$

ill.

$$v_s = T_{Bi} \cdot \eta = 0,49 \cdot 0,917 = 0,45 \text{ kg} / \text{kg}, d$$

A lebontáshoz szükséges oxigénigény fajlagos értéke:

$$O_{2f} = (k_r^s \cdot v_s + 2 \cdot k_r^e) \cdot X_1 + 3,4 \cdot T_h \cdot (S_{Ao} - S_{Ae})$$

A 2-es szorzó az esetlegesen megnőtt elegykoncentráció oxigénigényének biztosítására szolgál, míg a 3,4-es szorzó az ammónia oxigénfogyasztásából származik.

$$O_{2f} = (0,55 \cdot 0,45 + 2 \cdot 0,09) \cdot 2,5 + 3,4 \cdot 5,1 \cdot (0,025 - 0,005) = 1,07 + 0,35 = 1,42 \text{ kg } O_2 / \text{m}^3 d$$

Az oxigénbevitt biztosító levegőztető oxigén beviteli kapacitása:

$$O_{Cn} = \frac{1}{\alpha_{OC}} \cdot \frac{C_{O_2S}}{C_{O_2S} - C_{O_2X}} \cdot O_{2f}$$

Hőmérséklet °C	Klorid koncentráció, g/l		
	0	10	20
	oxigéntelítési koncentráció, mg/l		
0	14,6	13,0	11,3
5	12,8	11,4	10,0
10	11,3	10,1	9,0
15	10,1	9,1	8,1
20	9,2	8,3	7,4
25	8,4	7,6	6,7
30	7,6	6,9	6,1

**31. táblázat: Az oxigéntelítési koncentráció (CO_2S) a hőmérséklet függvényében
760 Hgmm légköri nyomáson (Randolf)**

$$O_{Cn} = \frac{1}{0,9} \cdot \frac{9}{9-2} \cdot 1,42 = 2,03 \text{ kg } O_2 / \text{m}^3, d$$

A szennyvíz minőségének ingadozása miatt ezt az értéket egy biztonsági értékkel célszerű figyelembe venni.

Ennek nagysága általában 1,3-1,5 (szakirodalmak szerint). Legyen a biztonsági tényező 1,4 és a tényleges oxigén beviteli kapacitás (igény):

$$O_{Cnt} = 1,4 \cdot O_{Cn} = 1,4 \cdot 2,03 = 2,84 \text{ kg } O_2 / \text{m}^3, d$$

A medence hasznos térfogatát figyelembe véve a levegőztetővel biztosítandó oxigén beviteli igény:

$$\Sigma O_{Cnt} = O_{Cn} \cdot V = 2,84 \cdot 9800 = 278514 \text{ kg } O_2 / d$$

Ezen érték segítségével a levegőztető egység kiválasztható.

A naponta keletkező fölösiszap (eleveniszap) hozam:

$$f_i = (y \cdot v_s - k_e) \cdot x_1 + T_h (L_i + L_a) = (0,6 \cdot 0,45 - 0,06) \cdot 2,5 + 5,1(0,035 + 0,020) = 0,525 + 0,2805 = 0,8055 \text{ kg} / \text{m}^3, d$$

A napi tényleges fölösiszap mennyisége:

$$F_i = f_i \cdot V = 0,8055 \cdot 9800 = 7894 \text{ kg/d}$$

Ebből minimális mennyiség az utóülepítőn túlfolyhat!

A keletkezett fölösiszap térfogata:

$$V_{fi} = \frac{F_i}{X_3}$$

$$X_3 = \frac{1200}{I_M} \cdot \text{szervesanyag hányad} = \frac{1200}{110} \cdot 0,7 = 7,64 \text{ kg / m}^3$$

Az 1200 (elméletileg 1000) tapasztalati érték.

Az iszap szárazanyag tartalma pedig:

$$c_i = \frac{1200}{I_M} = \frac{1200}{110} = 10,9 \text{ kg / m}^3$$

és

$$V_{fi} = \frac{7894}{7,64} \approx 1034 \text{ m}^3$$

A recirkuláció mértéke:

$$R = \frac{X_1}{X_3 - X_1} = \frac{2,5}{7,64 - 2,5} = 0,486, \text{ azaz } 48,6\% - \text{os}$$

Az iszapkor:

$$I_K = \frac{V \cdot X_1}{F_i} = \frac{9800 \cdot 2,5}{7894} = 3,1 \text{ d}$$

Ez az iszapkor nem a kedvezőbb, a nitrifikáció miatt előnyösebb lenne egy magasabb iszapkor!

A 32. táblázatban az ATV szennyvíztechnológiai egyesület ajánlása található kommunális szennyvíztisztító berendezések tervezéséhez és jellemző, szükségszerű üzemi irányértékekre.

A 33. táblázat néhány főbb tervezési paraméter foglal magába, míg a 33. táblázatban a kommunális szennyvíz átlagos lebegőanyag koncentráció értékek található nyers szennyvíz ill. előülepítés után nyert túlfolyásban.

I. Terhelés és iszapszaporulat

Üzemi jellemzők	Teljes oxidáció	Teljes biológiai tisztítás		
		Nitrifikáció val	Elfolyó víz minősége	
			20 mg/l BOI	30 mg/l BOI
BOI terhelés, T_b , kg/m ³ d	0,25	0,5	1,0	2,0
Iszapterhelés, F , kg/kg d	0,05	0,15	0,3	0,6
Térfogati terhelés, T_h m ³ /m ³ d	0,83	2,5	5,0	10,0
Tartózkodási idő, \bar{t} , h	20	9,5	4,8	2,4
Tartózkodási idő, minimális értéke h				
Szárazidei	-	4,0	2,0	1,0
Esősidei	-	2,0	1,0	0,5
Iszapkoncentráció, X_1 , kg/m ³	5	3,3	3,3	3,3
Mohlman-index, M_i , ml/g	100	150	150	150
Recirkulált iszap, X_3 , kg/m ³	10	6,6	6,6	6,6
R, %	100	100	100	100
Befolyó BOI, S_0 , g/m ³	300*	200	200	200
Befolyó összes lebegő, X_0 g/m ³	450*	150	150	150
Elfolyó összes lebegő X_2 g/m ³	20	20	20	20
Elfolyó BOI, S_e , g/m ³	12	15	20	30
Fülösiszap, F_i , kg/m ³ d	0,20	0,37	0,85	1,80
Iszappor, I_k , d	25	9	4	2

II. Oxigénbeviteli jellemzők

Befolyó NH_4^+ SA_0 , g/m ³	30	30	30	30
Elfolyó NH_4^+ SA_e , g/m ³	3	3	3	3
Elfolyó NO_3^- g/m ³	2	16	12	5
Fülösiszap N-tartalom, g/m ³	8	10	10	10
Endogén légzés $k_e X_1$, kg/m ³ d	0,3	0,33	0,33	0,33
Szubsztrátum-légzés $0,5(S_0-S_e)T_h$, kg/m ³ d	0,12	0,23	0,45	0,85
Nitrifikáció $4,6 \cdot \text{NO}_3^- \cdot \text{N} \cdot T_h$, kg/m ³ d	0,01	0,19	0,28	0,23
Denitrifikáció $1,7 \cdot \text{N}_2 \cdot T_h$, kg/m ³ d	0,04	0,04	0,06	0,03
Összes légzés, O_f , kg/m ³ d	0,47	0,79	1,12	1,44
O_2 koncentráció, C_L , g/m ³	0,5	2,0	2,0	2,0
$C_L/(C_S-C_L)$	1,06	1,28	1,28	1,28
$\alpha \text{OC}_n(\text{üzemi}) = O_f \frac{C_S}{C_S - C_L}$, **	0,5	1,01	1,43	1,84
kg/m ³ d				
$\frac{\alpha \text{OC}_n}{T_b}$	2,0	2,0	1,43	0,92
Biztonsági tényező	1,25	1,25	1,40	1,60
OC/T_b (OC/load)	2,5	2,5	2,0	1,5

** $\alpha \approx 0,8 - 0,9$

*Előülepítés nélkül

32. táblázat: Az ATV (NSZK-beli szennyvíztechnológiai egyesület) ajánlása, városi szennyvíztisztító berendezések tervezési és üzemi irányértékeire

Tervezési paraméter	Teljes oxidációs rendszer	Teljes biológiai tisztítást nyújtó rendszer		Részisztítást nyújtó (diszperz) rendszer (levegőzetetett tó) – nagy terhelésű eleveniszapos rendszer*
		Ipari szennyvíztisztítás tartománya	Városi szennyvízhez javasolt optimumok nitrifikációval	
Eleveniszap koncentráció (szeves hányad) X_1 , g/l	2 – 5	0,7 – 5	1,0 – 2,5	3,3 – 2,0
Fajlagos tápanyaglebontási sebesség, v_s , kg/gd	0,1 – 0,15	0,15 – 1,0	0,3 – 0,5	0,6 – 5,0
Tartózkodási idő, t, d	1 – 3	0,1 – 1,0	0,2 – 0,4	4 – 0,05
Iszapkor, I_k , d	20 – 100	1 – 15	4 – 5	4 – 0,5
Oxigénbeviteli sebesség, OC_n , kg/m ³ d	0,20 – 0,70	0,8 – 4,5	1,7 – 1,9	0,7 – 5,0
Fajlagos energiaigény, W/m ³ **	5 – 17,5	20 – 113	42,5 – 47,5	17,5 – 125
Iszapindex, M, ml/g	100 – 200	40 – 200	80 – 150	200 – 300
Utőüleptési idő, h	5 – 8	2,5 – 5	3,5 – 4,0	nincs – 2,5
Recirkuláció arány, R, %	100 – 300	30 – 150	50 – 120	0 – 30

*Ebben az oszlopban nem tartományt adtunk meg, hanem jellemző értéket

** 1 kWh-ra 1,67 kg O-bevitelt számolva

33. táblázat: Főbb tervezési paraméterek ipari és városi szennyvizekhez

Lebegőanyag-fajta	Lebegőanyag-koncentráció mg/l nyers szennyvízben	Lebegőanyag-koncentráció mg/l, üleptített szennyvízben (80%-os üleptési hatásfok)
Szerves inert anyag, L_i	140	28
Ásványi anyag, L_a	133	27
Összes lebegő anyag	273	55

34. táblázat: Lebegőanyag-koncentrációk városi (házi) szennyvízben

II.2.9.4. Nagyterhelésű biológiai csepegtetőtest méretezése napi átlagos vízhozamra

Adatok:

Szennyvízhozam: $Q = 1440 \text{ m}^3/\text{d} = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ BOI₅ koncentrációja: $c_{0\text{BOI}_5} = 180 \text{ g}/\text{m}^3$ Tisztított víz BOI₅ tartalma: $c_{\text{eBOI}_5} = 34 \text{ g}/\text{m}^3$,azaz a tisztítás megkívánt hatásfoka: $\eta = 80 \%$

A szakirodalmak az üzemeltetési tapasztalatok alapján a tisztítási hatásfok eléréséhez $T_b = 760 \text{ g}/\text{m}^3\text{d}$ BOI₅ terhelés tartozik. Ezeket figyelembe véve a csepegtetőtest szükséges térfogata:

$$V_{cs} = \frac{Q \cdot c_{0\text{BOI}_5}}{T_b} = \frac{1440 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 180 \text{ g}/\text{m}^3}{760 \text{ g}/\text{m}^3 \cdot \text{d}} = 341 \text{ m}^3$$

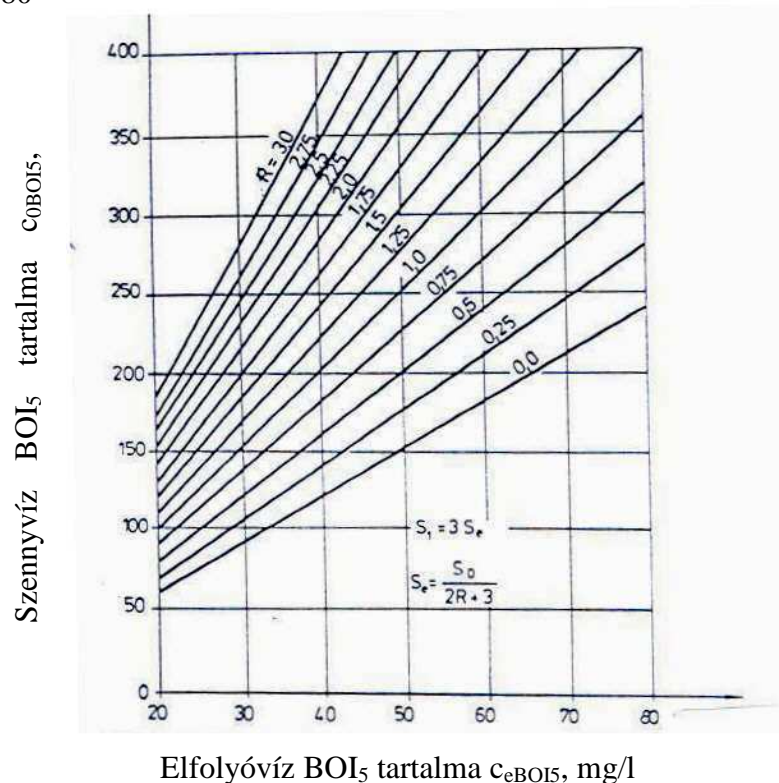
$T_f = 1,5 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ felületi terhelés és teljes mértékű, $R = 1$ recirkulációval számolva (35. ábra) a csepegtetőtest szükséges felülete:

$$F = \frac{(R+1) \cdot Q}{T_f} = \frac{2 \cdot 60 \text{ m}^3/\text{h}}{1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}} = 80 \text{ m}^2$$

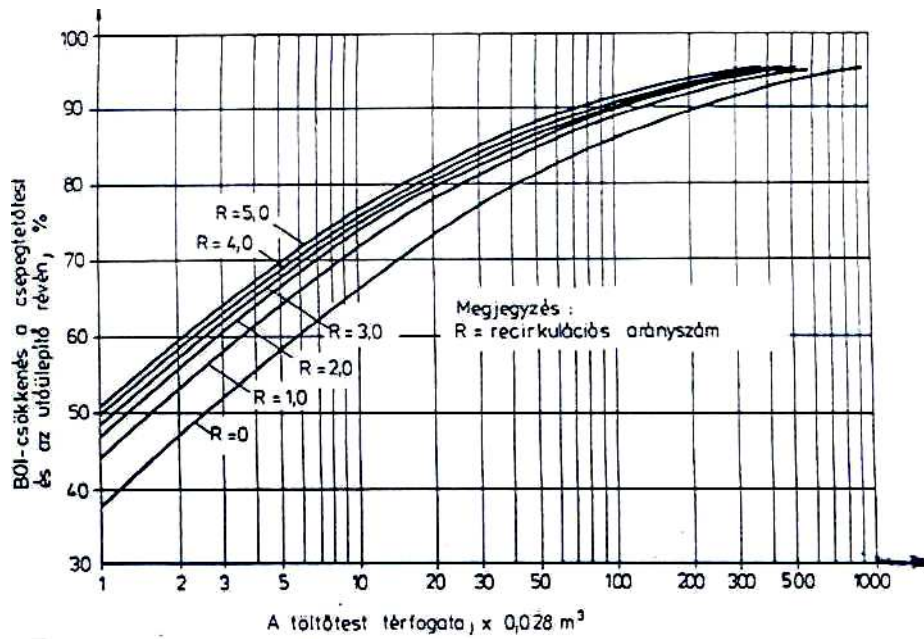
Amelyből a csepegtetőtest átmérője: $D = 10,1 \text{ m}$

A csepegtetőtest magassága pedig:

$$H = \frac{V_{cs}}{F} = \frac{341}{80} = 4,26 \text{ m}$$



35. ábra: A csepegtetőtest jellemző recirkuláció mértéke a tisztítandó és tisztított víz BOI₅ tartalma függvényében



36. ábra: A recirkuláció mértékének igénye a csepegtetőtestes biológiai eljárásnál a töltet térfogat és szükséges lebontási határfok függvényében.

II.2.9.5. Csepegtetőteszt biológiai reaktor főbb paraméterei a terhelhetőség szerint:

Szervesanyag terhelés: T_R

$$T_R = \frac{Q \cdot c_{0BOI_5}}{V_R}$$

Amelyből a T_R és a bemenő víz paraméterei ismeretében a reaktor szükséges térfogata:

$$V_R = \frac{Q \cdot c_{0BOI_5}}{T_R} = \frac{T_{bBOI_5}}{T_R}$$

A T_R grafikonból meghatározható érték. (36. ábra)

Adatok:

$$Q = 250 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$T_{bBOI_5} = 1440 \text{ kg/d} \quad (c_{0BOI_5} = 160 \text{ mg/l}), \text{ előülepítés után: } 0,7 \cdot 1440 = 1008 \text{ kg/d}$$

T_{RI} kisterhelésű reaktor jellemző BOI_5 terhelhetősége: $175 \text{ g/m}^3 \cdot \text{d}$

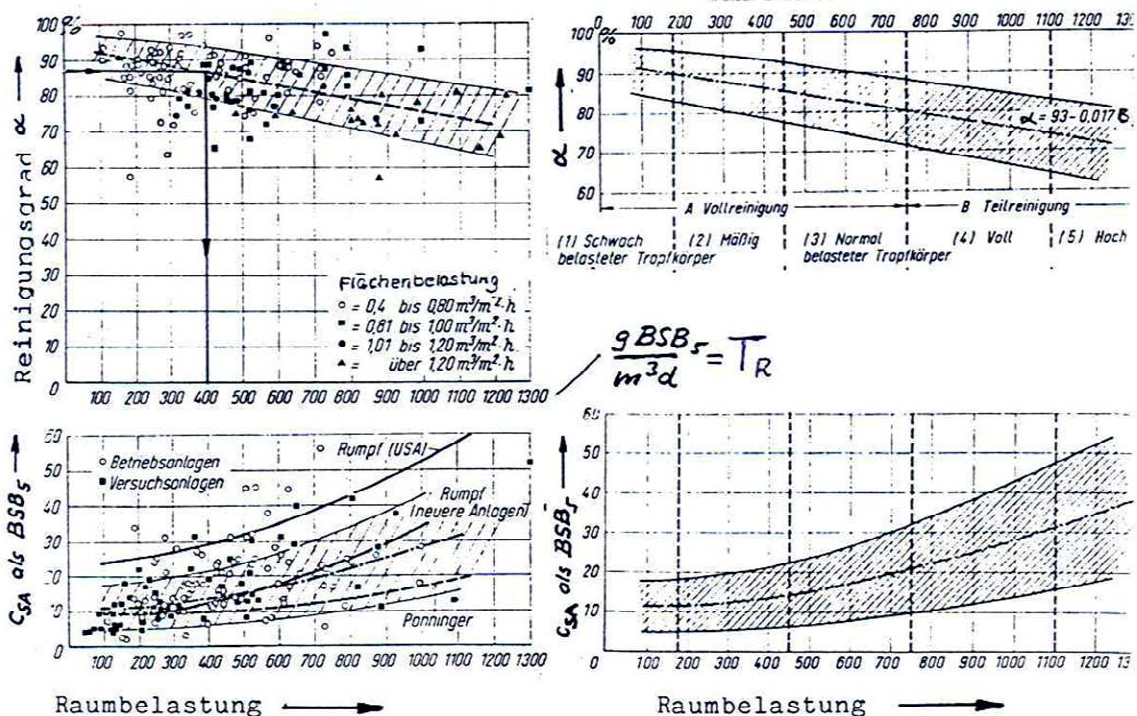
T_{RII} nagyterhelésű reaktor méretei, ha a jellemző BOI_5 terhelhetősége: $1100 \text{ g/m}^3 \cdot \text{d}$

Kisterhelésű reaktor térfogata:

$$V_{RI} = \frac{Q \cdot c_{0BOI_5}}{T_{RI}} = \frac{T_{bBOI_5}}{T_{RI}} = \frac{1008 \text{ kg/d}}{0,175 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}} = 5760 \text{ m}^3$$

A nagyterhelésű reaktor térfogata:

$$V_{RII} = \frac{Q \cdot c_{0BOI_5}}{T_{RII}} = \frac{T_{bBOI_5}}{T_{RII}} = \frac{1008}{1,1} = 916,4 \text{ m}^3 \approx 917 \text{ m}^3$$



37. ábra: Segédlet csepegtetőteszt biológiai reaktor méretezéséhez. A terhelhetőség T_R és a hatásfok kapcsolata, illetve a tisztított víz BOI_5 tartalma a térfogati terhelés függvényében. (O.Pallasch, W.Tiebel)

Ábrafeliratok:

Rammbelastung: térfogati terhelés

Reinigungsgrad: hatásfok

Vollreinigung: teljes tisztítás

Teilreinigung: részleges tisztítás

(1) kis

(2) mérsékelt

(3) normál

(4) teljes

(5) nagy

terhelésű csepegtetőtest.

A felületi terhelés kisterhelésű reaktornál: 0,08 – 0,2 m/h, míg nagyterhelésűnél: 0,75 – 1,5 m/h.

$$T_f = \frac{Q_m}{F_R}$$

Kisterhelésűnél: $T_{fi} = 0,1$ m/h felvéve:

$$F_{RI} = \frac{Q_m}{T_{fi}} = \frac{250 \text{ m}^3 / \text{h}}{0,1 \text{ m} / \text{h}} = 2500 \text{ m}^2$$

Ezt a felületet $n=5$ reaktorral biztosítva:

$$F_1 = \frac{F_R}{n} = \frac{2500 \text{ m}^2}{5 \text{ db}} = 500 \text{ m}^2 / \text{db}$$

Átmérő:

$$D = \sqrt{\frac{4F_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 500}{\pi}} = 25,23 \text{ m} \approx 25 \text{ m}$$

Tényleges felület:

$$F_{lt} = 5 \cdot 25^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 2454 \text{ m}^2$$

A felületi terhelés:

$$T_{fti} = \frac{250}{2454} = 0,102 \text{ m} / \text{h} \text{-j} \text{ó} \text{ é} \text{r} \text{t} \text{é} \text{k}, \text{ g} \text{y} \text{a} \text{k} \text{o} \text{r} \text{l} \text{a} \text{t} \text{i} \text{l} \text{a} \text{g} \text{ m} \text{e} \text{g} \text{e} \text{g} \text{y} \text{e} \text{z} \text{i} \text{k} \text{ a} \text{ f} \text{e} \text{l} \text{v} \text{e} \text{t} \text{t} \text{ é} \text{r} \text{t} \text{é} \text{k} \text{k} \text{e} \text{l}.$$

A reaktor magassága:

$$H = \frac{V_{RI}}{F_{lt}} = \frac{5760 \text{ m}^3}{2454 \text{ m}^2} = 2,35 \text{ m}$$

Nagy terhelésű reaktornál: $T_{fi}=0,9$ m/h-ra felvéve:

$$F_{RII} = \frac{Q_m}{T_{fi}} = \frac{250 \text{ m}^3 / \text{h}}{0,9 \text{ m} / \text{h}} = 278 \text{ m}^2$$

A reaktor magassága:

$$H = \frac{V_{RII}}{F_{RII}} = \frac{917 \text{ m}^3}{278 \text{ m}^2} = 3,3 \text{ m}$$

Egy reaktort választva az átmérő:

$$D = \sqrt{\frac{4F_{RII}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 278}{\pi}} = 18,8 \text{ m} \approx 20 \text{ m}$$

A választott tényleges felület:

$$F_{lt} = 20^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 314,16 \text{ m}^2$$

És a tényleges felületi terhelés:

$$T_{ft} = \frac{250}{314,16} = 0,7958 \text{ m/h} - \text{jó érték}$$

Nagy terhelésű reaktoroknál a hatásfok növelése érdekében recirkulációt kell alkalmazni, melynek mértékét jelen esetben $R = 50\%$ -osra vesszük fel.

A recirkuláltatott vízmennyiség:

$$Q_R = R \cdot Q = 0,5 \cdot 250 = 125 \text{ m}^3/\text{h}$$

A nagyterhelésű csepegtetőtestes reaktort terhelő vízmennyiség:

$$Q_t = Q + Q_R = 250 + 125 = 375 \text{ m}^3/\text{h}$$

és a tényleges felületi terhelés a recirkulációval:

$$T_{fR} = \frac{Q_t}{F_t} = \frac{375}{314,16} = 1,19 \text{ m/h}$$

Mely érték még megengedhető, $< 1,5 \text{ m/h}$

Választható 2 db csepegtetőtestes reaktor is, melyeknek az átmérője: $D_1 = D_2 = 13,3 \approx 14 \text{ m}$, és a tényleges felületi terhelés pedig:

$$T_{fR} = \frac{125}{154} = 0,8 \text{ m/h}$$

mely nagy terhelésű csepegtetőtestekre még jellemző érték.

II.2.9.6. Az átlagos tartózkodási idő számítása a csepegtetőtest alkalmazásakor

Adatok:

Szennyvízhozam: $Q = 375 \text{ m}^3/\text{h} = 0,104 \text{ m}^3/\text{s}$

Felületi terhelés: $T_f = 1,19 \text{ m/h}$

A csepegtetőtest magassága: $H = 3,3 \text{ m}$

Az átlagos tartózkodási idő:

$$t_a = a \cdot \frac{H}{Q^{2/3}}, \text{ ahol } a: \text{ konstans szám;}$$

illetve:

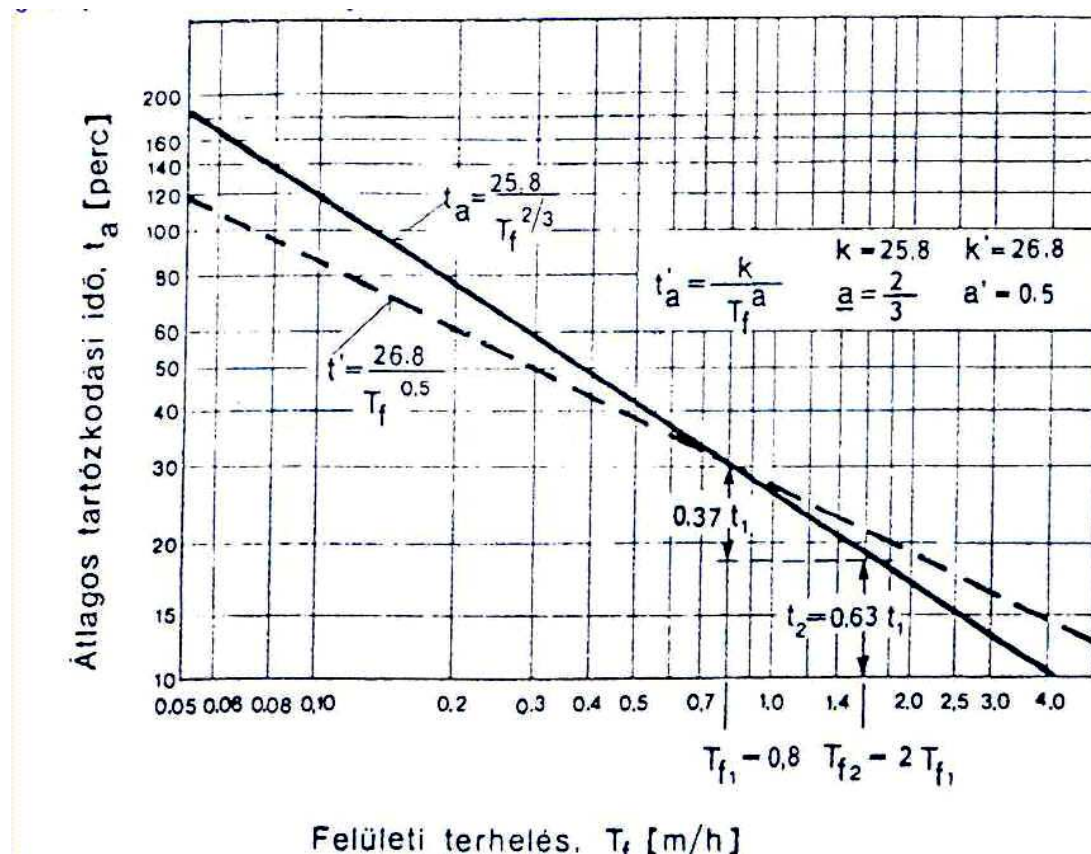
$$t_a = K \cdot \frac{H}{T_f^{2/3}} = \frac{k}{T_f^{2/3}}$$

Az összefüggést grafikusán ábrázolva (a tapasztalatokat figyelembe véve Pallasch - Triebel):

Az ábrából leolvastva és számolva az átlagos tartózkodási idő:

$$t_a = \frac{25,8}{T_f^{2/3}} = \frac{25,8}{1,19^{2/3}} \approx 23 \text{ perc}$$

III. a leolvasásból ≈ 24 perc.



38. ábra: Az átlagos tartózkodási idő a csepegtetőtest felületi tarhelésének függvényében (Pallasch - Trieber)

II.2.9.7. Merülőtárcsás csepegtetőtest méretezése Steels szerint

Adatok:

A szennyvíztisztítót terhelő lakosság: $L = 6000$ főFajlagos szennyvízhozam: $q = 150$ l/fő·dA BOI_5 fajlagos terhelés a biológiánál: $c_{fBOI_5} = 0,05$ kg/fő·dAz elfolyó tisztított víz BOI_5 tartalma: $c_{eBOI_5} = 30$ mg/lA befolyóvíz BOI_5 koncentrációja:

$$c_{0BOI_5} = \frac{c_{fBOI_5}}{q} = \frac{0,05 \text{ kg} / \text{fő} \cdot \text{d}}{0,15 \text{ m}^3 / \text{fő} \cdot \text{d}} = 0,333 \text{ kg} / \text{m}^3 = 333 \text{ mg} / \text{l}$$

A biológiai tisztítás hatásfoka:

$$\eta_{BOI_5} = \frac{c_{0BOI_5} - c_{eBOI_5}}{c_{0BOI_5}} = \frac{333 - 30}{333} = 0,909$$

$$\eta_{BOI_5} \approx 90 \%$$

A szennyvízhozam átlagértéke:

$$Q_{\text{átl}} = \frac{L \cdot q}{24 \text{ h} / \text{d} \cdot 60 \text{ min} / \text{h}} = \frac{6000 \text{ fő} \cdot 0,15 \text{ m}^3 / \text{fő} \cdot \text{d}}{24 \text{ h} / \text{d} \cdot 60 \text{ min} / \text{h}} = 0,625 \text{ m}^3 / \text{min}$$

A 35. táblázatban a lakosság szerinti korrekciós tényezővel átszámítva a mértékadó szennyvízhozam:

$$Q^* = Q_{\text{átl}} \cdot \text{korrekciós tényező}$$

6000 főnél a korrekciós tényező: 1,1, és

$$Q^* = 0,625 \cdot 1,1 = 0,6875 \text{ m}^3 / \text{min}$$

A méretezési segédlet (39. ábra) alapján a szükséges tisztítási hatásfok (90 %) segítségével a tisztító felület/térfogatáram arány meghatározható:

$$\frac{\text{tisztító felület}}{\text{térfogatáram}} \approx 17000 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3 / \text{min}}$$

Ebből a mértékadó szennyvízhozam ismeretével a szükséges tárcsafelület számítható.

$$F = 17000 \cdot Q^* = 17000 \cdot 0,6875 \approx 11688 \text{ m}^2$$

Reaktortechnikai megfontolások (kaszkádszerűen sorbakapcsolt lépcsők) bizonyos korrekció szerinti felületcsökkentést tesznek lehetővé. A 36. táblázat szerint 90 %-os tisztítási hatásfok 4 fokozatú (lépcsős) tisztító reaktort igényel, melynél a felület csökkentő korrekció értéke: 0,87, azaz a ténylegesen szükséges tárcsafelület:

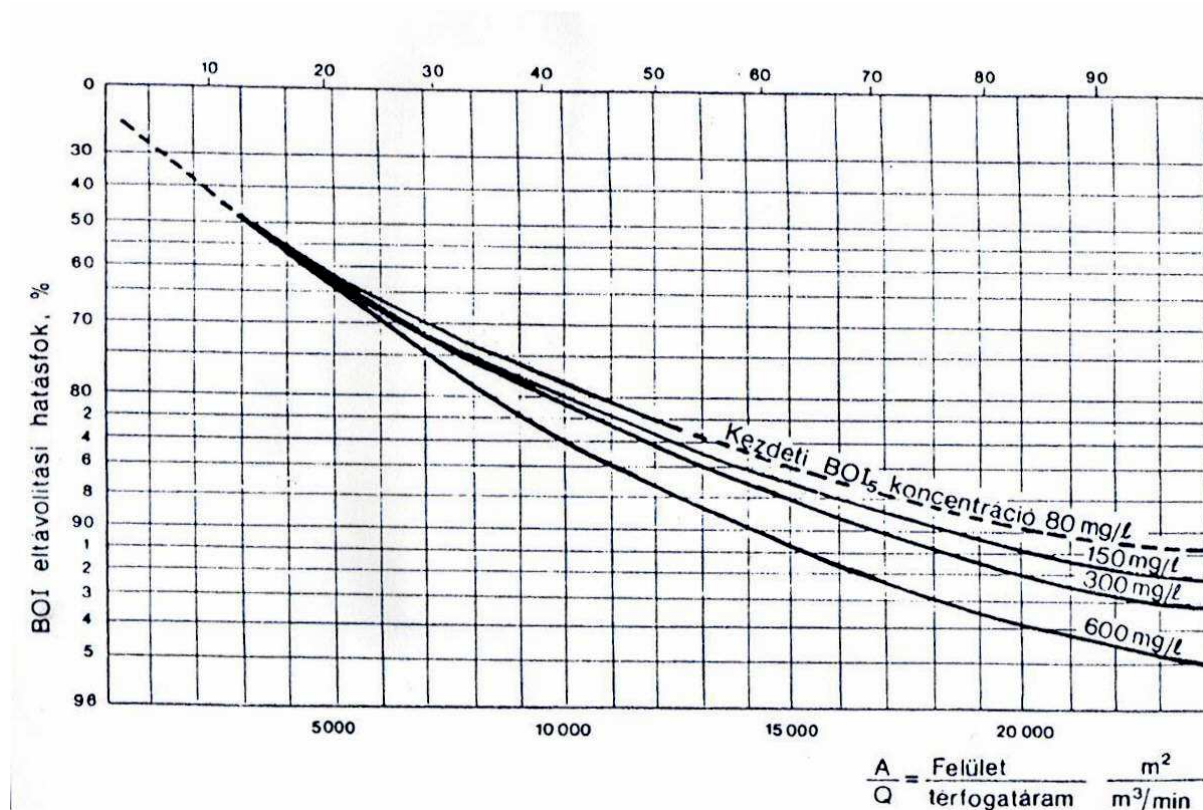
$$F_1 = F \cdot 0,87 = 11688 \cdot 0,87 = 10168 \text{ m}^2$$

Lakosság, vagy leé [fő]	Korrekciós szorzó tényező
10000	1
5000 – 10000	1,1 – 1,2
1500 – 5000	1,2 – 1,3
400 – 1500	1,3 – 1,5
<400	1,5

35. táblázat: Korrekciós tényező a mértékadó szennyvízhozam számításához a lakosság függvényében (Steels)

A lépcsők (fokozatok) száma n (db)	Max. hatásfok η_{BOI5} (%)	Korrekciós tényező C
3	85	0,91
4	90	0,87
>4	90	0,85

36. táblázat: Korrekciós tényezők a merülőtárcsás biológiai csepegtetőtest felületének meghatározásához választott lépcsők száma, a tisztítási hatásfok függvényében. (Steels)



39. ábra: Segédlet a merülőtárcsás csepegtetőtest felületének számításához (Steels)

3 m átmérőjű tárcsát választva a tisztításban részvevő felület, $f_1 \approx 13 \text{ m}^2$, a szükséges tárcsák száma:

$$n = \frac{F_t}{f_1} = \frac{10168}{13} = 782 \text{ db} \approx 784 \text{ db}$$

És a lépcsőnként alkalmazandó tárcsák száma:

$$n_1 = \frac{n}{4} = \frac{784}{4} = 196 \text{ db}$$

Az első lépcső tényleges terhelése:

$$T_{BOI5I} = \frac{L \cdot c_{fBOI5}}{f_1 \cdot n_i} = \frac{6000 \text{ f}\ddot{o} \cdot 50 \text{ g} / \text{f}\ddot{o} \cdot d}{13 \text{ m}^2 / \text{db} \cdot 196 \text{ db}} = 117,7 \text{ g} / \text{m}^2 \cdot d$$

Mely érték még éppen kisebb, mint a maximálisan elfogadott $120 \text{ g} / \text{m}^2 \cdot d$ érték.

II.2.9.8. Merülőtárcsás csepegtetőtest méretezése

Adatok:

A település lakóinak száma: $N = 1000$ fő

$$1 \text{ leé} = 120 \text{ l/d} \cdot \text{fő} = 0,12 \text{ m}^3/\text{fő} \cdot \text{d}$$

$$c_{\text{BOI}_5} = 180 \text{ mg/l} = 180 \text{ g/m}^3$$

$$c_{\text{eBOI}_5} = 30 \text{ mg/l} = 30 \text{ g/m}^3$$

A kívánt lebontási hatásfok: 83,3 %.

A szükséges (oxidációs) idő 37. táblázatból: $t_t = 18$ h. Ezzel a mértékadó órai csúcs vízhozam:

$$Q_{cs} = \frac{Q}{t_t}$$

$$Q = N \cdot 1 \text{ leé} = 1000 \cdot 0,12 = 120 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{cs} = \frac{Q}{t_t} = \frac{120 \text{ m}^3/\text{d}}{18 \text{ h/d}} = 6,67 \text{ m}^3/\text{h} = 0,11 \text{ m}^3/\text{min}$$

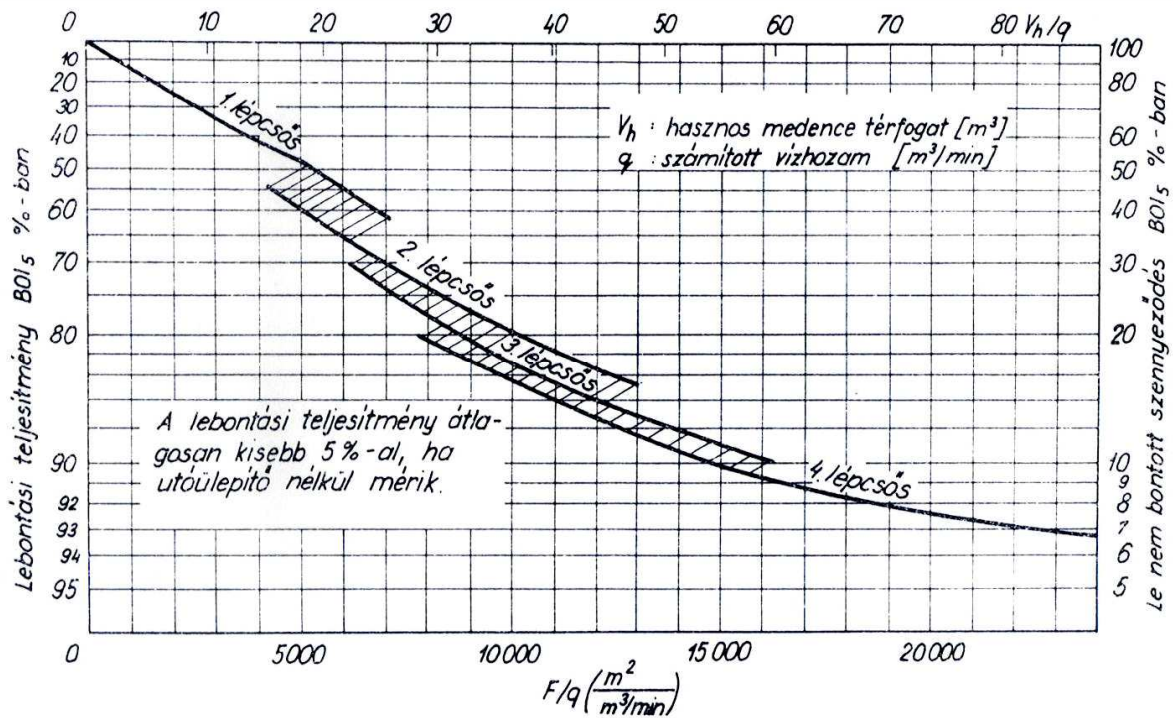
A mellékelt 40. ábrából $\eta=83,3\%$ -hoz a választott berendezés lépcsőinek száma: 3, és az F/Q értéke = $10000 \text{ m}^2/\text{m}^2/\text{min}$.

A lebontáshoz szükséges felület:

$$\frac{F}{Q} = 10000 \Rightarrow F = Q \cdot 10000 = 0,11 \cdot 10000 = 1100 \text{ m}^2$$

Lakosság	Mértékadó méretezési vízmennyiségek	
	Elő- és utóülepítőknél lefolyási idő (száraz) óra	Merülőtárcsás csepegtetőtestnél oxidációs idő (óra)
400-ig	10	16
400 – 1500	12	18
1500 – 6000	14	18–22
6000 fölött	16–18	20–24
Megengedhető terhelés	Az előülepítőben	Az utóülepítőben
Elválasztó rendszerű csatornahálózatnál		
Tartózkodási idő	0,5 h	1,5 h
Felületi terhelés:	1,5 m/h	1,5 m/h
Egyesített rendszerű csatorna hálózatnál: Ha a szárazidei szennyvíz 5 x-ét kezelik		
Tartózkodási idő	1,5 h	2,5 h
Felületi terhelés:	0,8 m/h	0,6 – 0,8 m/h
Szélső értékek		
Tartózkodási idő	18 min	30 min
Felületi terhelés:	4 m/h	4 m/h

37. táblázat: Adatok merülőtárcsás biológiai csepegtetőtestek méretezéséhez



40. ábra: A biológiai lebontás határfokának és az alkalmazandó lépcsők számának szükségessége merülőtárcsás csepegtetőtestes kommunális szennyvíztisztításnál.

3 m átmérőjű tárcsákat választva a szükséges n darabszám:

1 db tárcsa hasznos felülete:

$$f_1 = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot 2 = \frac{3^2 \pi}{4} \cdot 2 = 14 \text{ m}^2$$

A tengelyekhez való csatlakozás miatt a tényleges $f_1 \approx 13 \text{ m}^2$ és ennek segítségével a tárcsák száma:

$$n = \frac{F}{f_1} = \frac{1100}{13} = 84,6$$

A választott tárcsák száma pedig: 87 db, és a lépcsőnkénti tárcsa szám:

$$n_i = \frac{n}{3} = \frac{87}{3} = 29 \text{ db}$$

Az első lépcsőben a T_{BOI_5} kisebb kell hogy legyen $120 \text{ g/m}^2 \cdot d$ -nél. A tényleges érték:

$$T_{BOI_5,t} = \frac{Q \cdot c_{0BOI_5}}{f_1 \cdot n_i} = \frac{120 \text{ m}^3 / d \cdot 180 \text{ g/m}^3}{13 \text{ m}^2 / \text{db} \cdot 40 \text{ db}} = 41,5 \text{ g/m}^2 \cdot d < 120 \text{ g/m}^2 \cdot d$$

II.2.9.9. Kis szennyvíztisztító telep merülőtárcsás biológiai berendezésének főbb paraméterei

Adatok:

Lakosszám: $L = 150$ fő

Fajlagos szennyvízhozam: $q = 150 \text{ l/fő} \cdot d = 0,15 \text{ m}^3/\text{fő} \cdot d$

Fajlagos BOI_5 terhelés: $c_{\text{fBOI}_5} = 0,060 \text{ kg/fő} \cdot d$

Az előülepítő hatásfoka: $\eta_{\text{BOI}_5} = 30 \%$

A merülőtárcsás tisztításra kerülő szennyvíz BOI_5 terhelése:

$$c_{\text{BOI}_5} = L \cdot c_{\text{fBOI}_5} \cdot (1 - \eta_{\text{BOI}_5})$$

$$c_{\text{BOI}_5} = 150 \text{ fő} \cdot 0,06 \text{ kg/fő} \cdot d \cdot 0,7 = 6,3 \text{ kg/d}$$

Kistelepeknél a merülőtárcsás berendezés fajlagos terhelése $T_{\text{BOI}_5} = 6,5 \text{ g BOI}_5/\text{m}^2 \cdot d$ -re vehető fel a gyakorlati tapasztalatok alapján. Ha egy átmérő 3 m-es tárcsa hasznos felülete $F_i = 13 \text{ m}^2$, a szükséges tárcsaszám:

$$n = \frac{c_{\text{BOI}_5}}{T_{\text{BOI}_5} \cdot F_i} = \frac{6300 \text{ g/d}}{6,5 \text{ g/m}^2 \cdot d \cdot 13 \text{ m}^2 / db} = 74,6 \approx 75 \text{ db}$$

Háromlépcsős megoldásban 25 db tárcsát kell elhelyezni 1-1 lépcsőben, kaszkádszerűen a lépcsőket egymáshoz illesztve.

II.2.9.10. Szennyvíziszap rothasztásánál keletkező biogáz mennyiség meghatározása

Adatok:

Egy $L = 8000$ lakosú város kommunális szennyvize mellett még $Q_i = 9000 \text{ m}^3/\text{d}$, $c_{\text{BOI}_5} = 300 \text{ g/m}^3$ szennyezettségű ipari szennyvizet termel. A rothasztó reaktor térfogata $V = 640 \text{ m}^3$, a rothasztási hőmérséklet $t_R = 22,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Az átlagos fajlagos nedvesiszap mennyiség:

$q_i = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{LE} \cdot d$ és a szilárd szervesanyag koncentráció pedig: $c_{\text{org}} = 38,0 \text{ kg/m}^3$.

Az ipari szennyvíz lakosegyenértéke:

$$LE_i = \frac{Q \cdot c_{\text{BOI}_5}}{c_{\text{BOI}_5 \text{éé}}}$$

$c_{\text{BOI}_5 \text{éé}}$: egy lakos által előálló BOI_5 érték; $= 60 \text{ g/fő} \cdot d$

$$LE_i = \frac{9000 \text{ m}^3 / d \cdot 300 \text{ g/m}^3}{60 \text{ g/fő} \cdot d} = 45000 \text{ fő}$$

A keletkezett összes szennyvíz lakosegyenértéke:

$$LE = LE_i + L = 45000 + 8000 = 53000 \text{ fő}$$

A tisztítás során keletkező iszap várható mennyisége:

$$V_i = LE \cdot q_i = 53000 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} = 58,3 \text{ m}^3/\text{d}$$

Az átlagos tartózkodási idő a rothasztóban:

$$t = \frac{V}{V_i} = \frac{640 \text{ m}^3}{58,3 \text{ m}^3 / d} = 10,97 \approx 11 \text{ d}$$

A szakirodalmak alapján a rothasztóban keletkező gáz mennyisége a tartózkodási idő és a hőmérséklet függvénye. A 37. táblázatban 10^{-3} m^3 gáz /kg szervesanyag fajlagos érték leolvasható, ill. közelítő értéke meghatározható:

Tartózkodási idő [d]	$q_g, 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ szervesanyag, ha a hőmérséklet:		
	20 °C	25 °C	30 °C
5	210	350	450
10	370	500	610
15	450	600	700

38. Táblázat: A várható fajlagos biogáz mennyiség a tartózkodási idő és hőmérséklet függvényében

E táblázat szerint 11 nap tartózkodási idő és 22,5 °C hőmérséklet mellett a várható fajlagos gáztermelődés: $q_g = 455 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$, melyet figyelembe véve a várható napi gáztermelődés:

$$Q_g = V_i \cdot c_{\text{org}} \cdot q_g = 58,3 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 38,0 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 455 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg} = \underline{1008 \text{ m}^3/\text{d}}$$

II.2.9.11. Iszaprothasztó reaktor térfogatának meghatározása

Az iszaprothasztó reaktor térfogatának meghatározása több számítási módszerrel történhet:

a) *Iszap mennyiség alapján:*

Legyen a lakosság: $L = 8000$ fő

Az iszap fajlagos mennyisége: $q_i = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{fő} \cdot \text{d}$

a szükséges rothadási idő 30 °C-on, $t = 20$ d

$$V_R = L \cdot q_i \cdot t = 8000 \text{ fő} \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{fő} \cdot \text{d} \cdot 20 \text{ d} = 176 \text{ m}^3$$

b) Fajlagos rothasztótér igény szerint

$$V_R = L \cdot V_{eé}$$

ahol $V_{eé}$: fajlagos rothasztótér igény:

$$V_{eé} = q_i \cdot t = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 22 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{fő}$$

és

$$V_R = 8000 \cdot 22 \cdot 10^{-3} = 176 \text{ m}^3$$

c) *Szervesanyagterhelés alapján:*

Rothasztandó iszap mennyisége: $M_i = 10 \text{ t}/\text{d}$

Szilárdanyag tartalma : $m_{sz} = 4 \text{ m}\% = 0,04$

A szilárdanyag szervesanyag tartalma: $c_0 = 70 \text{ \%} = 0,7$

A rothasztótér szervesanyag terhelhetősége: $m_{ot} = 2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$

alapadatok mellett a rothasztótér térfogata:

$$V = \frac{M_i \cdot m_{sz} \cdot c_0}{m_{ot}} = \frac{10 \cdot 10^3 \text{ kg} / \text{d} \cdot 0,04 \cdot 0,7}{2 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{d}} = \frac{280}{2} = 140 \text{ m}^3$$

II.2.9.12. Aerob iszapstabilizáláshoz szükséges reaktorok térfogatának és oxigén igényének számítása:

Az iszap stabilizálás célja: a rothadóképeség csökkentése, az iszapvíztelenítés elősegítése.

Adatok:

Főlösiszap mennyisége: $Q_F = 50 \text{ m}^3/\text{d}$

Szárazanyag tartalma: $= 20 \text{ kg}/\text{m}^3$, ebből

Szerves kb. 60 % $= 12 \text{ kg}/\text{m}^3 = X_{01}$

Nyersiszap (primer iszap): $Q_P = 60 \text{ m}^3/\text{d}$

Szárazanyagtartalma: = 30 kg/m³, ebből
 Szerves része kb. 50 % = 15 kg/m³ = X₀₂
 A kezelés hőmérséklete: 15 °C

Az aerob iszapstabilizáláshoz szükséges reaktortérfogat (V) három reaktortérfogatból áll:

- V_f = a fölösiszap stabilizációhoz szükséges térfogat
- V_a = a nyersiszap aktiválásához szükséges térfogat
- V_s = a nyersiszap stabilizációjához szükséges térfogat,

azaz:

$$V = V_f + V_a + V_s$$

A fölösiszap stabilizációjához szükséges reaktor térfogat:

$$V_f = \frac{Q_F}{3 \cdot k_e}$$

Ahol k_e: endogén lebomlás reakciósebességi állandó, 1/d 15 °C-on 0,05-re felvéve

T °C	10	12	15	20	28	30
k _e	0,03	0,02 – 0,05	0,03 – 0,07	0,06 – 0,1	0,14 – 0,20	0,18 – 0,20

Behelyettesítve:

$$V_f = \frac{Q_F}{3 \cdot k_e} = \frac{50}{3 \cdot 0,05} \approx 334 \text{ m}^3$$

A nyersiszap aktiválásához szükséges reaktor térfogat, térfogati szervesanyag-terhelésre méretezve:

$$T_{sz} = \frac{Q_p \cdot X_{02}}{V_a}$$

Összefüggésből:

$$V_a = \frac{Q_p \cdot X_{02}}{T_{sz}}$$

A szervesanyag terhelés értékét T_{sz}=1 kg/m³d-re szokásos beállítani, melynek következtében a

$$V_a = Q_p \cdot X_{02} = 60 \cdot 15 = 900 \text{ m}^3$$

A nyersiszap stabilizációjához szükséges térfogat:

$$V_s = \frac{Q_p}{3 \cdot k_e} = \frac{60}{3 \cdot 0,05} = 400 \text{ m}^3$$

Az aerob iszapstabilizáláshoz szükséges össz térfogatigény:

$$V = V_f + V_a + V_s = 334 + 900 + 400 = 1634 \text{ m}^3$$

Az aerob iszapstabilizáláshoz szükséges oxigénigény:

$$O_F = \frac{z \cdot Q \cdot (X'_0 - X'_e)}{V},$$

ahol:

z: biztonsági konstans, a lebomlott szervesanyag z-szeresét kell figyelembe venni, értéke 1,2 – 1,4. Felvéve: 1,3.

X'_e: a stabilizált iszap közös szervesanyag koncentrációja

X'₀: a stabilizált iszap szervesanyag koncentrációja a fermentor előtt.

(A gyakorlatban X'_e= 0,8 · X'₀-vel számolnak)

$$Q = Q_F + Q_P$$

$$X'_0 = \frac{Q_F \cdot X_{01} + Q_p \cdot X_{02}}{Q_F + Q_p} = \frac{50 \cdot 12 + 60 \cdot 15}{110} = 13,6 \text{ kg / m}^3$$

$$X'_e = 0,8 \cdot X'_0 = 0,8 \cdot 13,6 = 10,9 \text{ kg / m}^3$$

Behellyettesítés után:

$$O_F = \frac{1,3 \cdot (50 + 60) \cdot (13,6 - 10,9)}{1634} = \frac{386,1}{1634} = 0,24 \text{ kg / m}^3 \text{ d}$$

A lejátszó nitrifikációs folyamatok miatt ennek $n = 2,5 - 3$ -szorosát kell fedezni, azaz:

$$O_{Ft} = n \cdot O_F$$

$$n = 2,5$$

A tényleges fajlagos oxigénigény:

$$O_{Ft} = 2,5 \cdot 0,24 = 0,59 \text{ kg/m}^3 \text{ d}$$

És a teljes napi oxigénszükséglet:

$$O_N = V \cdot O_{Ft} = 1634 \cdot 0,59 = 965,25 \text{ kg/d} \approx 40 \text{ kg/h.}$$

II.2.9.13. Denitrifikáló fokozat tervezése Wuhrmann eljárás szerint

Adatok:

Aerob biológiailag kezelt szennyvíz hozam: $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{d}$

A kezelt szennyvíz nitrát tartalma: $c_{NO_3^-} = 18 \text{ mg / l}$

Recirkulációs arány: $R = 1$ (minimum)

A denitrifikálóra feladott szennyvíz:

$$Q^* = Q \cdot (1 + R) = 2Q = 2 \cdot 1500 = 3000 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q^* = 125 \text{ m}^3/\text{h}$$

A szükséges tartózkodási idő: $t = 6 \text{ h}$ (minimum 4 h)

A denitrifikáló reaktor hasznos térfogata:

$$V = t \cdot Q^* = 6 \text{ h} \cdot 125 \text{ m}^3/\text{h} = 750 \text{ m}^3$$

$\eta = 75$ %-os NO_3^- átalakítást figyelembe véve a maradék NO_3^- tartalom: $5,4 \text{ mg/l}$

II.2.9.14. Anaerob tó szükséges térfogata

Adatok:

A kezelendő szennyvíz mennyisége: $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{d}$

BOI_5 koncentrációja: $c_{0BOI_5} = 740 \text{ mg/l}$

A tisztított szennyvíz c_{eBOI_5} koncentrációja:

$$c_{eBOI_5} = 300 \text{ mg/l}$$

A szükséges tartózkodási idő:

$$t = \left(\frac{c_{0BOI_5}}{c_{eBOI_5}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_T \cdot \left(\frac{c_{eBOI_5}}{c_{0BOI_5}} \right)^n}$$

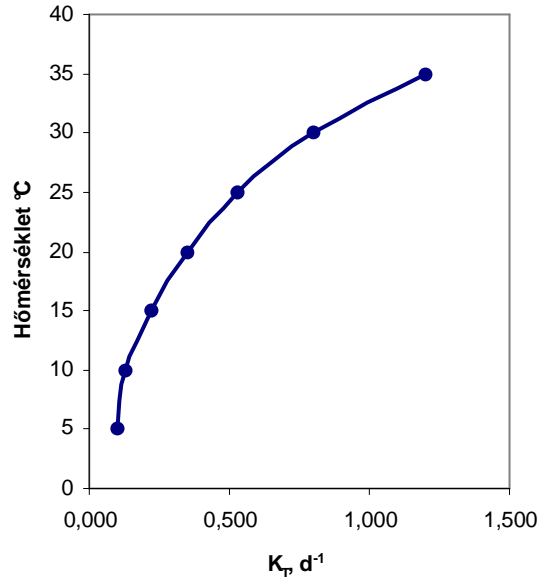
n értéke tapasztalatok alapján 1,05 (kísérlettel meghatározható)

K_T BOI_5 eltávolítás sebességi konstansa, értéke a 41. ábrából: 0,5 (a szennyvíz hőmérséklete 23°C)

$$t = \left(\frac{740}{300} - 1 \right) \cdot \frac{1}{0,5 \cdot \left(\frac{300}{740} \right)^{1,05}} = (2,47 - 1) \cdot \frac{1}{0,5 \cdot 0,405^{1,05}} = 1,47 \cdot 5,16 = 7,59 \text{ d}$$

A tó szükséges térfogata a tartózkodási idő ismeretében:

$$V = Q \cdot t = 1500 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 7,59 \text{ d} \approx 11400 \text{ m}^3$$



41. ábra: A K_T BOI_5 eltávolítás sebességi konstans változása a kezelendő víz hőmérséklete függvényében

II.2.9.15. Fakultatív tó méretezése

Adatok:

A település lakosainak száma: $L = 4000$ fő

A kommunális szennyvíz BOI_5 tartalma: $c_{0BOI_5} = 250$ mg/l

BOI_5 tartalom előülepítés után: $c_{1BOI_5} = 175$ mg/l

A létesítendő tó várható BOI_5 terhelése:

$$T_{BOI_5} = Q \cdot c_{1BOI_5} = L \cdot q \cdot c_{1BOI_5}$$

$$q = 0,15 \text{ m}^3/\text{fő} \cdot \text{d}$$

$$T_{BOI_5} = 4000 \cdot 0,15 \cdot 0,175 = 105 \text{ kg/d}$$

$$Q = 600 \text{ m}^3/\text{d}$$

A tó szükséges térfogata:

$$V = 35 \cdot Q \cdot c_{1BOI_5} \cdot 1,072^{35-T}$$

ahol: T = a tisztítandó víz hőmérséklete = 5 °C (téli – nyári átlag, felvéve!)

1,072: hőmérsékleti tényező

Behelyettesítés után:

$$V = 35 \cdot 600 \cdot 0,175 \cdot 1,072^{30} \approx 29590 \text{ m}^3$$

$H = 1,6$ m mélység esetén a tó felülete:

$$F = \frac{V}{H} = \frac{29590}{1,6} = 18494 \text{ m}^2$$

A tó felületi BOI_5 terhelése:

$$T_{fBOI_5} = \frac{T_{BOI_5}}{F} = \frac{105000 \text{ g/d}}{18494 \text{ m}^2} = 5,68 \text{ g/m}^2\text{d}$$

$Q = 600 \text{ m}^3/\text{d}$ -nél a tartózkodási idő a tóban:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{29590}{600} = 49,3 \text{ d}$$

Az elfolyó tisztított víz várható c_{eBOI_5} értéke:

$$c_{eBOI_5} = \frac{c_{0BOI_5}}{K_T \cdot t + 1}$$

K_T : hőmérsékletfüggő lebontási sebesség állandó, értéke a 42. ábra alapján $5 \text{ }^\circ\text{C}$ -nál $= 0,103$

$$c_{eBOI_5} = \frac{175 \text{ g/m}^3}{0,103 \text{ l/d} \cdot 49,3 \text{ d} + 1} = 28,8 \text{ g/m}^3$$

A tó várható tisztítási hatásfoka:

$$\eta = \frac{c_{1BOI_5} - c_{eBOI_5}}{c_{1BOI_5}} \cdot 100 = 83,5 \%$$

Nagyobb tisztítási hatásfok csak úgy érhető el, ha a fakultatív tavat több részre tagoljuk.

A tó megosztása legyen a térfogatot (tartózkodási időt) figyelembe véve $1/5$; $2/5$; $2/5$ arányú.

Ez esetben az egyes fakultatív tó részeket elhagyó víz c_{eiBOI_5} jellemzői:

Az első, fogadó tó rész után:

$$c_{e1BOI_5} = \frac{175}{0,103 \cdot \frac{49,3}{5} + 1} \approx 87 \text{ mg/l}$$

A második tagolt rész utáni BOI_5 tartalom:

$$c_{e2BOI_5} = \frac{87}{0,103 \cdot \frac{49,3 \cdot 2}{5} + 1} \approx 29 \text{ mg/l}$$

A harmadik tagolt rész utáni, végső BOI_5 tartalom, mellyel a víz a befogadóba jut:

$$c_{e3BOI_5} = \frac{29}{0,103 \cdot \frac{49,3 \cdot 2}{5} + 1} \approx 10 \text{ mg/l}$$

És az össz tisztítási hatásfok pedig:

$$\eta = \frac{175 - 10}{175} = 0,94 \Rightarrow \text{azaz } 94 \%$$

Amennyiben a tóban kezelt víz hőmérséklete magasabb lenne, a K_T lebontási sebesség nagyobb és ennek következménye a lebontás növekedése is.

A tó elfolyása ilyen hosszú tartózkodási idő miatt kisebb, mint a befolyó víz mennyisége, illetve több is lehet (párolgás, szivárgás, csapadék).

II.2.9.16. Iszapszikkasztóágy méretezése

Kiindulási adatok:

$$Q_i = 5500 \text{ m}^3/\text{év} \approx 15 \text{ m}^3/\text{nap}$$

$$c_{\text{víz}} = 93 \%, \text{ azaz } c_{\text{szil}} = 7\%$$

A szikkasztóágy térfogatának meghatározásához először a szükséges szikkasztási (száradási) időt kell meghatározni, mely az alábbi képlettel számítható:

$$t = 0,3 \cdot \frac{G}{I_v} \cdot \left(w_1 - w_{kr} + 2,3w_{kr} \cdot \log \frac{w_{kr}}{w_2} \right),$$

amelyben:

G: a fajlagos szárazanyag borítottság kg/m^2

I_v : a tisztított víz párolgás intenzitása mm/hó (adott helyen a meteorológiai adatok több éves átlaga) értéke 54 mm/hó -ra felvéve

w_1 : víz – szilárdanyag százalékos arány szikkasztás előtt

w_{kr} : víz – szilárdanyag százalékos arány kritikus értéke, a szikkasztási (száradási) görbéből leolvasható (...ábra)

w_2 : víz – szilárdanyag százalékos arány szikkasztás után

A fajlagos szárazanyag borítottság számítása:

Egy négyzetméteren 20 cm -es iszapréteget kialakítva, a terített iszap térfogata: $V = 0,2 \text{ m}^3$, és a fajlagos szárazanyag borítottság:

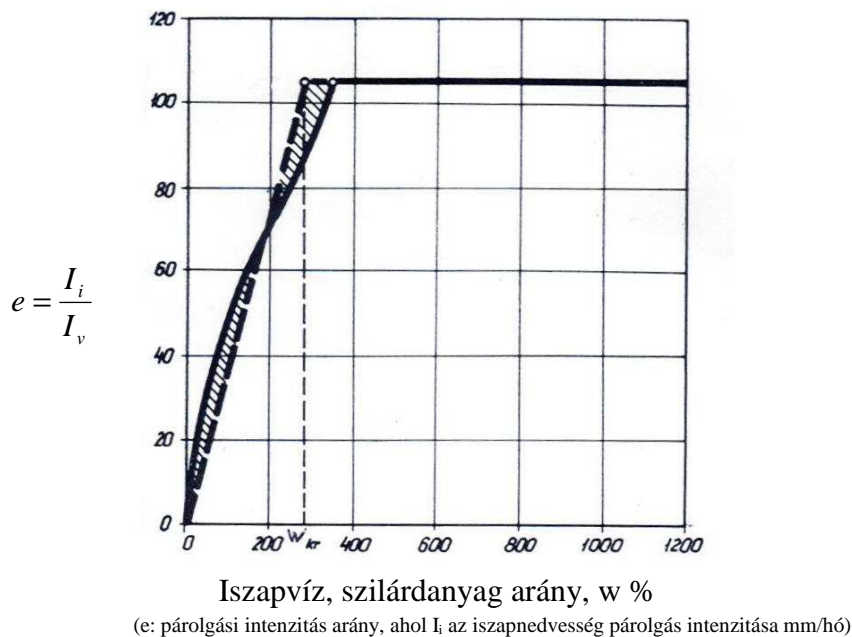
$$G = V \cdot c_{szil} = 0,2 \cdot 0,07 = 0,014 \text{ t/m}^2 = 14 \text{ kg/m}^2$$

A w értékek számítása:

w_1 -re jellemző, hogy a szikkasztás előtt a víz egy része elszivárog. Ez kb. $c_{v\acute{z}} = 75 \%$ -ig tart, azaz a szilárdanyag tartalom $c_{szil} = 25 \%$.

$$w_1 = 100 \frac{c_{v\acute{z}}}{c_{szil}} = \frac{75}{25} \cdot 100 = 300 \%$$

w_{krit} (42. ábrában) az egyenes metszéspontjaként leolvasható!



42. ábra: Rothasztott iszap száradási görbéje

Azaz $w_{kr} \approx 285 \%$

w_2 : az iszap szárítása (szikkasztása) kb. 30% nedvességtartalomig lehetséges. Ezt figyelembe véve:

$$w_2 = 100 \frac{c_{v\acute{z}}}{c_{szil}} = 100 \cdot \frac{30}{70} \approx 43 \%$$

A különböző értékeket száradási (szikkasztási) idő képletbe behelyettesítve:

$$t = 0,3 \cdot \frac{14}{54} \cdot \left(300 - 285 + 2,3 \cdot 285 \cdot \log \frac{285}{43} \right)$$

$$t = 0,3 \cdot 0,26 \cdot (15 + 538,4) = 0,078 \cdot 553,4 = 43,2 \text{ nap} \approx 45 \text{ nap}$$

Évente megengedhető elárasztások száma: 8, melynek során összesen 1 m^2 -en

$H_{\delta} = 8 \cdot 0,2 \text{ m} = 1,6 \text{ m}$ vízborítás adódik.

A szükséges szikkasztóágy felület:

$$F = \frac{Q}{H_{\delta}} = \frac{5500}{1,6} = 3437,50 \text{ m}^2 \approx 3500 \text{ m}^2$$

II.2.10. A vizek sótalanításával, lágyításával kapcsolatos feladatok:

A vizek kisebb-nagyobb koncentrációban tartalmazhatnak oldott anorganikus vegyületeket. Ezek koncentráció csökkentése ill. megszüntetése jelenti a víz sótalanítását ill. lágyítását.

II.2.10.1. Alapadatok a víz minőségéhez

Az anorganikus oldott anyagtartalom a vizek keménységét, lúgosságát, savasságát okozhatják.

II.2.10.1.1. *A víz keménysége: a vízben levő oldott kalcium és magnézium vegyületek okozzák.*

Karbonát keménység: KK: kalcium és magnézium hidrogénkarbonáttartalom okozza.

Nem karbonát keménység: NKK: A többi kalcium és magnézium oldott sói okozzák (szulfátok, kloridok, nitrátok)

Összes keménység: ÖK = KK + NKK

a) Mértékegysége: Német keménységi fok: nk°

1 nk° keménységű az a víz, amelynek 1 literében 10 mg kalcium-oxiddal egyenértékű kalcium és/vagy magnézium só van oldott állapotban.

b) mekv/l: Egy liter vízben 1 mg egyenérték-tömegnyi kalcium és/vagy magnézium só oldódott.

Átszámítás: 1 nk° = 2,8 mekv/l

II.2.10.1.2. *Lúgosság: Savval titrálható anyagok mennyiségét jelzi*

Típusai:

- összes lúgosság (m-lúgosság), mekv/l
- szabad lúgosság (p-lúgosság), mekv/l: Az össz lúgosság azon része, mely meghaladja a pH = 8,3 értéket.

(A víz erős sav mérőoldattal történő titrálásával határozhatók meg metilnarancs ill. fenolftalein indikátor jelenlétében)

Az m-lúgosság magába foglalja a víz összes lúgosan reagáló vegyületeit (hidroxidokat, karbonátokat, hidrogénkarbonátokat, szilikátokat, de a foszfátoknak csak 2/3 részét, a szulfitoknak csak a felét.)

A p-lúgosság az összes hidroxidokat, a karbonátok felét, továbbá az alumínátokat, a szilikátokat és a foszfátok felét.

A lúgosság és a vízben levő hidroxid, karbonát és hidrogénkarbonát mennyiségei között kapcsolatok vannak, melyek a 38. táblázatban találhatóak.

Titrálási eredmény	A vizsgált víz tartalmaz		
	hidroxid mekv/l	karbonát mekv/l	hidrogénkarbonát mekv/l
p = m	m	0	0
2p = m	0	2p	0
p = 0; m > 0	0	0	m
2p > m	2p - m	2(m - p)	0
2p < m	0	2p	m - 2p

39. táblázat: A lúgosság és a víz hidroxid, karbonát ill. hidrogénkarbonát tartalmi közötti összefüggés

II.2.10.1.3. *Savasság: A vizek savassága lúg mérőoldatos titrálással határozható meg. A savasságot hidrolizáló sók és savak okozzák.*

Típusai:

Összes savasság: (– p érték), mekv/l

Szabad savasság: (– m érték), mekv/l

A – m szám (metilnarancs indikátor jelenlétében történő titrálás eredménye) a vízben levő erős savak és savanyú sók mennyiségét adja. A – p szám (fenolftalein indikátoros titrálás eredménye) a víz összes szabad sav tartalmát adja. A (– p) – (– m) értéke a vízben levő gyenge savak (pl. szénsav) mennyisége.

II.2.10.2. Feladatok a víz keménységével kapcsolatban

II.2.10.2.1. *Mennyi a keménysége annak a víznek, amely 80 mg CaO-t tartalmaz?*

Mivel 1 nk°-nak 10 mg/l CaO tartalom felel meg, a szóban forgó víz keménysége nk°-ban:

$$\frac{80 \text{ mg/l}}{10 \text{ mg/l}} = 8 \text{ nk}^\circ$$

illetve:

$$1 \text{ nk}^\circ = 2,8 \cdot \text{mekv/l}$$

így:

$$\frac{8 \text{ nk}^\circ}{2,8} = 2,9 \text{ mekv/l}$$

A víz keménysége tehát 8 nk° illetve 2,9 mekv/l.

II.2.10.2.2. *Mennyi annak a víznek a keménysége amelynek iontartalmai a következők:*

Ca²⁺: 48,92 mg/l

Mg²⁺: 21,20 mg/l

A 40. táblázatban a keménységet okozó ionok, vegyületek 1 nk° ill. 1 mekv/l keménységet okozó mennyiségei találhatók, melyből következik:

7,14 mg/l Ca²⁺ megfelel 1 nk°-nak, ill. 4,32 mg/l Mg²⁺ megfelel 1 nk°-nak.

Ezen adatokat felhasználva a vizsgált víz keménysége:

$$\text{CaK} = \frac{48,92}{7,14} = 6,85 \text{ nk}^\circ \quad \text{ill.} \quad \text{MgK} = \frac{21,20}{4,32} = 4,9 \text{ nk}^\circ$$

és a víz összkeménysége: ÖK = CaK + MgK = 6,85 + 4,9 = 11,75 nk°

Vegyület, elem	1 mekv/l-nek megfelel mg/l	1 nk°-nak megfelel mg/l
Ca	20,0	7,14
CaO	28,0	10,0
CaCO ₃	50,0	17,9
Ca(HCO ₃) ₂	81,0	28,9
Ca(OH) ₂	37,0	13,2
CaCl ₂	55,5	19,8
CaSO ₄	68,0	24,3
Ca(NO ₃) ₂	82,0	29,3
Mg	12,15	4,32
MgO	20,1	7,2
MgCO ₃	42,1	15,0
Mg(HCO ₃) ₂	73,1	26,1
Mg(OH) ₂	29,1	10,4
MgCl ₂	47,6	17,0
MgSO ₄	60,2	21,5
Mg(NO ₃) ₂	74,0	26,4

40. táblázat: Keménységet okozó elemek, vegyületek mennyiségi és keménységi összefüggései

A keménység mekv/l-ben számolva:

$$CaK = \frac{48,92}{20} = 2,45 \text{ mekv/l}$$

$$MgK = \frac{21,20}{12,15} = 1,745 \text{ mekv/l}$$

azaz

$$\text{ÖK} = 2,45 + 1,745 = 4,195 \text{ mekv/l}$$

$$\text{ÖK} = 2,8 \cdot 4,195 = 11,45 \text{ nk}^\circ$$

Csapadék	Hőmérséklet °C	Oldhatóság		
		mg/l	mekv/l	nk°
CaCO ₃	20	13	0,26	0,73
	25	14,3	0,28	0,8
	75	18,3	0,36	1,02
	100	24,0	0,48	1,34
MgCO ₃	15	94,4	2,28	6,3
	20	84	1,99	5,6
	100	63	1,53	4,2
Mg(OH) ₂	15	8,8	0,302	0,872
	20	7,0	0,24	0,67
	100	2,9	0,1	0,28
Ca ₃ (PO ₄) ₂	20	0,006	0,0001	0,0003

41. táblázat: Keménységet okozó vegyületek oldhatósága a hőfok függvényében.

II.2.10.2.3. Milyen összetétel jellemző a vízre, ha p -lúgosság értéke = 0,5 mekv/l ill. m -lúgossága = 0,8 mekv/l?

A 41. táblázat szerint, ha $2p = 1$ mekv/l, és $2p > m$ a víz karbonátot és hidroxidot tartalmaz, melyeknek mennyisége:

Karbonát tartalom:

$$\text{CO}_3^{2-} = 2(m - p) = 2(0,8 - 0,5) = 0,6 \text{ mekv/l}$$

átszámítva:

$$0,6 \cdot \frac{M}{v} = \text{mg/l}$$

ahol M : móltömeg = 60

v : vegyérték = 2

$$\text{CO}_3^{2-} = 0,6 \cdot \frac{60}{2} = 18 \text{ mg/l}$$

Hidroxid tartalom:

$$\text{OH}^- = 2p - m = 2 \cdot 0,5 - 0,8 = 0,2 \text{ mekv/l}$$

azaz

$$\text{OH}^- = 0,2 \text{ mekv/l} \cdot \frac{M}{v} = 0,2 \cdot \frac{17}{1} = 3,4 \text{ mg/l}$$

II.2.10.2.4. Milyen a víz összetétele, ha a p lúgosság 0,4 mekv/l és az m -lúgosság pedig: 0,9 mekv/l?

A víz lúgosságára jellemző, hogy $2p = 0,8$ és $2p < m$

E szerint a víz karbonátot és H-karbonátot tartalmaz (39. táblázat)

A víz karbonát-tartalma:

$$\text{CO}_3^{2-} = 2p = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ mekv/l}$$

azaz

$$\text{CO}_3^{2-} = 0,8 \cdot \frac{M}{v} = 0,8 \cdot \frac{60}{2} = 24 \text{ mg/l}$$

A víz H-karbonát-tartalma pedig:

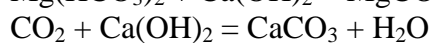
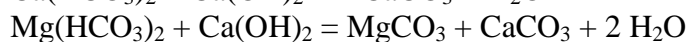
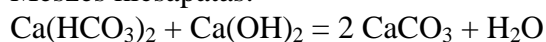
$$\text{HCO}_3^- = m - 2p = 0,9 - 2 \cdot 0,4 = 0,1 \text{ mekv/l}$$

illetve

$$\text{HCO}_3^- = 0,1 \cdot \frac{61}{1} = 6,1 \text{ mg/l}$$

II.2.10.2.5. Csapadékos lágyítás:

a) Meszes kicsapítás:

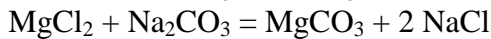
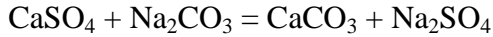


A kicsapáshoz szükséges $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mennyisége CaO g/m³-ben kifejezve:

$M_{\text{CaO}} = 28$ (KK mekv/l + MgK mekv/l + CO_2 mekv/l), ill.

$M_{\text{CaO}} = 10$ (KK nk° + MgK nk° + CO_2 nk°)

b) Nátriumkarbonátos (szódás) kicsapatás



A lágyításhoz szükséges fajlagos szóda mennyiség:

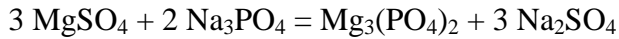
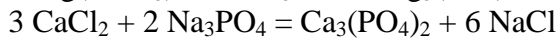
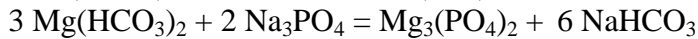
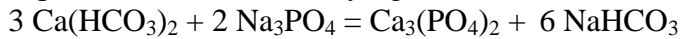
$$M_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \text{ g/m}^3 = 18,9 \cdot \text{NKK nk}^\circ$$

ill.

$$M_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \text{ g/m}^3 = 2,8 \cdot 18,9 \cdot \text{NKK} = 52,9 \cdot \text{NKK mekv/l}$$

A mész-szódás kicsapatás együttes alkalmazásakor a CaO igény számítása az a)-ban leírtaknak megfelelően történik!

c) Trinátrium-foszfátos (trisós) kicsapatás: Leggyakrabban a mész-szódás lágyítással kapott víz maradék keménységének eltávolítására alkalmazzák.



A lágyításhoz szükséges fajlagos trisó mennyiség:

$$M_{\text{Na}_3\text{PO}_4} \text{ g/m}^3 = 19,5 \cdot \text{ÖK nk}^\circ$$

ill.

$$M_{\text{Na}_3\text{PO}_4} \text{ g/m}^3 = 2,8 \cdot 19,5 \cdot \text{ÖK} = 54,5 \cdot \text{ÖK mekv/l}$$

d) Nátriumhidroxidos + szódás lágyítás

Nátriumhidroxid alkalmazása a karbonát keménység kicsapatása, míg a szóda felhasználása a nem karbonát keménység eltávolítására szolgál.

$$M_{\text{NaOH}} \text{ g/m}^3 = 40 (\text{KK mekv/l} + \text{MgK mekv/l} + \text{CO}_2\text{K mekv/l})$$

$$M_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \text{ g/m}^3 = 52,9 \cdot [\text{NKK} - (\text{KK} + \text{MgK} + \text{CO}_2\text{K})] \text{ mekv/l}$$

Ha $\text{NKK} < (\text{KK} + \text{MgK} + \text{CO}_2\text{K})$ a szóda adagolására nincs szükség.

II.2.10.2.6. Mennyi a kicsapató vegyszerek mennyiségi igényei, ha a

Kiindulási adatok:

$$\text{KK} = 2,5 \text{ mekv/l}$$

$$\text{MgK} = 1,3 \text{ mekv/l}$$

$$\text{CO}_2\text{K} = 0,4 \text{ mekv/l}$$

$$\text{ÖK} = 5,5 \text{ mekv/l}$$

$$\text{NKK} = 1,3 \text{ mekv/l}$$

Meszes kicsapatáskor szükséges fajlagos CaO igény:

$$M_{\text{CaO}} \text{ g/m}^3 = 28 (2,5 + 1,3 + 0,4) = 117,6 \text{ g/m}^3$$

Szódás kicsapatásnál a fajlagos Na_2CO_3 igénye:

$$M_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \text{ g/m}^3 = 52,9 \cdot 1,3 = 68,77 \text{ g/m}^3$$

Trinátrium-foszfátos (trisós) kicsapatás fajlagos Na_3PO_4 igénye:

$$M_{\text{Na}_3\text{PO}_4} \text{ g/m}^3 = 54,5 \cdot 5,5 = 299,75 \text{ g/m}^3$$

Nátriumhidroxidos és szódás kicsapatás fajlagos vegyszer igénye:

$$M_{\text{NaOH}} = 40 [2,5 + 1,3 + 0,4] = 168 \text{ g/m}^3$$

Mivel $\text{NKK} = 1,3 < (\text{KK} + \text{MgK} + \text{CO}_2\text{K}) = (2,5 + 1,3 + 0,4)$

$1,3 < 4,2$ a szóda adagolása elmarad!

II.2.10.2.7. A változó keménység csökkentése során keletkező iszap száraz mennyiségének meghatározása

$$M_i \text{ g/m}^3 = 100 [KK_0 - \frac{1}{2} KK_e] + 29 (MgK_0 - MgK_e) + 50 \text{ CO}_2 - m_e$$

ahol a

K_0 index a nyersvíz keménység értékei

K_e index a kezelt víz maradó keménység értékei

m_e a tisztított vízzel távozó szilárdanyag mennyisége

Adatok:

A nyers víz adatai, mint az előbbi példában;

A tisztított víz adatai:

$KK_e = 0,4 \text{ mekv/l}$

$MgK_e = 0,5 \text{ mekv/l}$

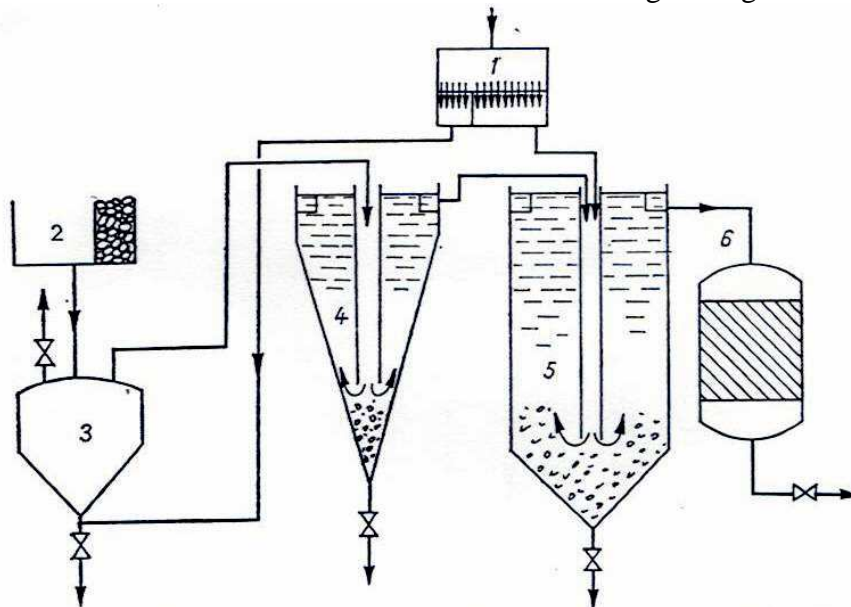
$m_e = 5 \text{ mg/l}$

$$M_i = 100 (2,5 - 0,5 \cdot 0,4) + 29 \cdot (1,3 - 0,5) + 50 \cdot 0,4 - 5 = 100 \cdot 2,3 + 29 \cdot 0,8 + 20 - 5 = 268,2 \text{ g/m}^3$$

A keletkezett, kiülepihető csapadék száraz fajlagos tömege tehát kb. 269 g/m^3 .

II.2.10.2.8. Lassú karbonát-mentesítő reaktor méretezése.

A 43. ábra egy telített mészvízzel üzemelő karbonát-mentesítőt foglal magában:



1: vízelosztó, 2: mészoltó, 3: mésztejartály, 4: mésztelítő, 5: reaktor, 6: kavicszűrő

43. ábra: Telített mészvízzel üzemelő karbonátmentesítő

A 4. jelű mésztelítőben a tartózkodási idő 3 – 4 h, a felső körkerezstmetszetű részben a víz emelkedési sebessége 0,1 – 0,5 mm/s.

Nyers víz egy része a 3-an keresztül a mésztelítőbe jut, míg a másik része az 5 jelű reaktorba kerül feladásra. A megosztás aránya:

$$X = \frac{A}{A + n}$$

ahol:

X: 1 m^3 nyersvíz kezeléséhez szükséges telített víz mennyisége, m^3

A : 1 m^3 nyersvíz kezeléséhez szükséges CaO-mennyiség, g/m^3

n: 1 m^3 mészvíz (telített) CaO-tartalma, g/m^3

Adatok:

$$A = 320\text{ g/m}^3$$

$$n = 1200\text{ g/m}^3$$

$$X = \frac{320}{320 + 1200} = \frac{320}{1520} = 0,21\text{ m}^3$$

Határozzuk meg a karbonátmentesítő fő méreteit az alábbi adatok ismeretében:

A reaktor szükséges teljesítménye:

$$Q = 120\text{ m}^3/\text{h}$$

$$A = 320\text{ g/m}^3$$

$$n = 1200\text{ g/m}^3$$

A tartózkodási a mésztelítő tartályban: $t_m = 4\text{ h}$

A tartózkodási idő a reaktorban: $t_R = 3,5\text{ h}$

Áramlási sebességek: mésztelítőben: $v_t = 1,0\text{ m/h}$

reaktorban: $v_R = 2,5\text{ m/h}$

Mésztelítő: hengeres és kúpos részének aránya: $a = 1 : 2,5$

A reaktor kúpszöge: $\alpha = 90^\circ$

A mészoltás időigénye: $t_{mo} = 3\text{ h}$

A mésztej CaO-tartalma: $C_t = 22000\text{ g/m}^3$

Egy m^3 karbonátmentes víz előállításához szükséges mészvíz mennyisége:

$X = 0,21\text{ m}^3$ (számítása a feladat első részében)

Az óránként szükséges telített mészvíz igény:

$$Q_m = Q \cdot X = 120 \cdot 0,21 = 25,2\text{ m}^3$$

a mésztelítő szükséges térfogata:

$$V_m = Q_m \cdot t_m = 25,2 \cdot 4 = 100,8\text{ m}^3$$

A mésztelítő hengeres részének keresztmetszete:

$$F = \frac{Q_m}{v_t} = \frac{25,2}{1} = 25,2\text{ m}^2$$

átmérője pedig:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 25,2}{\pi}} = 5,66\text{ m}$$

A mésztelítő kúpos részének magassága:

$$H_{m,k} = \frac{V}{F(a + 1/3)} = \frac{100,8}{25,2 \cdot (1/2,5 + 1/3)} = \frac{100,8}{18,48} = 5,45\text{ m}$$

a: a hengeres és kúpos rész magasságának aránya; $a = \frac{H_{mh}}{H_{mk}}$

$a = 1 : 2,3; 1 : 2,5$

A hengeres rész magassága:

$$H_{m,h} = a \cdot H_{m,k} = \frac{1}{2,5} \cdot 5,45 = 2,18\text{ m}$$

A mésztelítő tartály teljes magassága:

$$H_m = H_{mk} + H_{mh} = 5,45 + 2,18 = 7,63\text{ m}$$

A reaktor méretei pedig:

térfogata:

$$V_R = Q \cdot t_R = 120 \cdot 3,5 = 420 \text{ m}^3$$

keresztmetszete:

$$F_R = \frac{Q}{v_R} = \frac{120}{2,5} = 48 \text{ m}^2$$

azaz:

$$d_R = \sqrt{\frac{4F_R}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 48}{\pi}} = 7,82 \text{ m}$$

Az alsó kúpos rész magassága:

$$H_{R,k} = \frac{d}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{7,82}{2 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ} = \frac{7,82}{2} = 3,91 \text{ m}$$

A hengeres rész magassága:

$$H_{R,h} = \frac{V_R}{F_R} - \frac{H_{R,k}}{3} = \frac{420}{48} - \frac{3,91}{3} = 8,75 - 1,3 = 7,45 \text{ m}$$

A karbonátmentesítő reaktor teljes magassága:

$$H_R = H_{R,k} + H_{R,h} = 3,91 + 7,45 = 11,36 \text{ m}$$

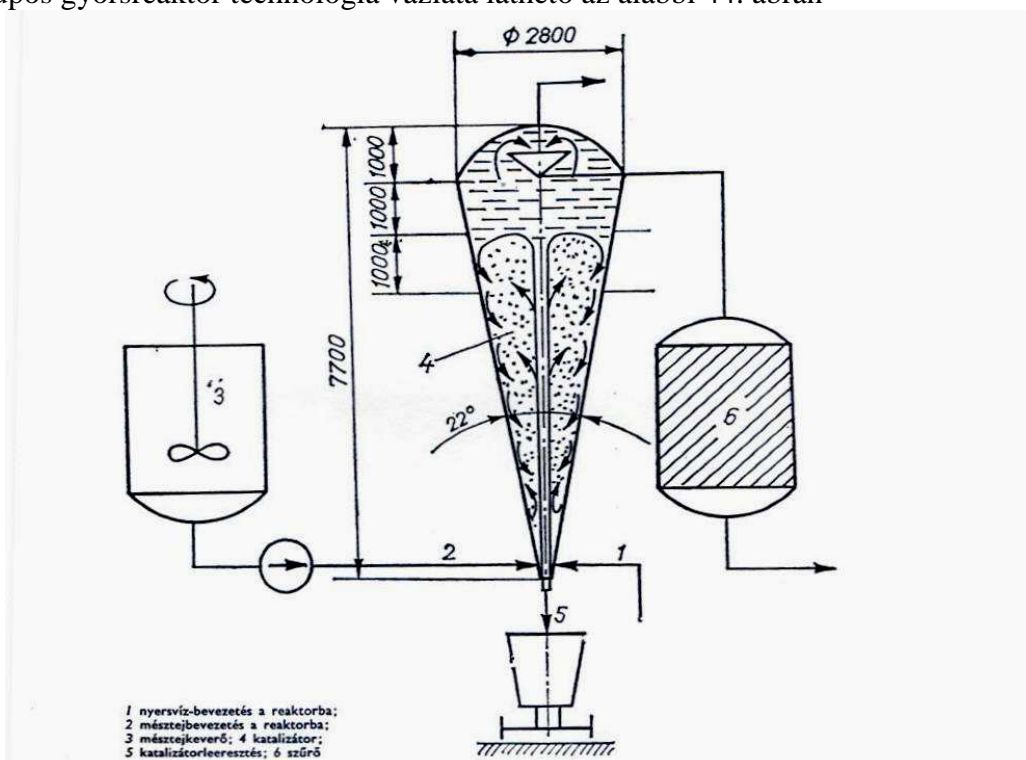
A mésztejtartály minimális térfogata pedig:

$$V_{mt} = \frac{Q \cdot A \cdot t_{m0}}{c_t} = \frac{120 \cdot 320 \cdot 3}{22000} = 5,24 \text{ m}^3$$

Az óránkénti mészvíz igény előállítását a törzsoldatként felhasznált mésztej CaO tartalma, a mészsoltás időigénye határozza meg, és ezektől függenek a szükséges keverős reaktor paraméterei is.

II.2.10.2.9. Gyors karbonátmentesítő reaktor méreteinek meghatározása

Egy kúpos gyorsreaktor technológia vázlata látható az alábbi 44. ábrán



44. ábra: Kúpos gyorsreaktor (Wirbos-rendszerű) (Az adatok nem a számolt értékek!)

Adatok:

A kezelendő víz térfogatárama: $Q = 120 \text{ m}^3/\text{h}$

A víz emelkedési sebessége a legnagyobb keresztmetszetben. $v = 15 \text{ m/h}$

A reaktor kúpszöge: $\alpha = 22^\circ$

A reaktor (felső) legnagyobb keresztmetszete:

$$F = \frac{Q}{v} = \frac{120}{15} = 8 \text{ m}^2$$

Ebből a d_{\max} :

$$d_{\max} = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8}{\pi}} = 3,2 \text{ m}$$

A kúpos reaktor térfogata:

$$V = F \cdot \frac{d}{6 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = 8 \cdot \frac{3,2}{6 \cdot \operatorname{tg} 11^\circ} = 8 \cdot \frac{3,2}{6 \cdot 0,1944} = 21,9 \approx 22 \text{ m}^3$$

A reaktor magassága:

$$H_R = \frac{d}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{3,2}{2 \cdot \operatorname{tg} 11^\circ} = 8,23 \text{ m}$$

A víz tartózkodási ideje a reaktorban:

$$t_R = \frac{V}{Q} = \frac{22 \text{ m}^3}{120 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,18 \text{ d} = 4,4 \text{ h}$$

A mésztej adagoló szivattyú működési paraméterei a karbonátmentesítésre kerülő nyersvíz paramétereiből és az adagolásra kerülő mésztej koncentráció ismeretében határozhatók meg. A keletkező iszapok térfogata a száraz csapadék és egy felvett nedvességtartalom segítségével kalkulálható, melyből az iszapgyűjtő konténer csereidejét befolyásolja.

II.2.10.2.10. A lassú karbonátmentesítésnél a mészvíz kalcium-oxid tartalmának meghatározása

A karbonátmentesítés akkor dolgozik jól, ha a mésztelítőben a mészvíz CaO-tartalma az oldhatóságnak megfelelő (42. táblázat).

Mért egység	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	40°C	50°C
2p-m mekv/l	48,2	47,2	46,1	44,6	42,8	38,6	34,3
CaO, g/l	1,35	1,32	1,29	1,25	1,20	1,08	0,96
Ca(OH) ₂ , g/l	1,78	1,62	1,70	1,65	1,59	1,43	1,27

42. táblázat: CaO-val telített víz jellemzői a hőmérséklet függvényében

A mészvíz szabad CaO-tartalma:

$$CaO \text{ g/l} = \frac{28 \cdot (2p - m)}{1000}$$

ill.

$$CaO \text{ mekv/l} = 2p - m$$

A p- és m- értékek a mészvíz lúgosságai, mekv/l-ben. Mérése MSZ 12660/3 szerint.

p = 22,1 mekv/l

m = 0,2 mekv/l

$$CaO \text{ g/l} = \frac{28 \cdot (2 \cdot 22,1 - 0,2)}{1000} = \frac{1232}{1000} = 1,232 \text{ g/l}$$

Az érték egy kb. 26°-os telített mészvíz CaO-tartalmának felel meg.

II.2.10.2.11. A Na^+ -ioncserélőben két regenerálás között tisztított, kezelt víz mennyisége: $Q = 2500 \text{ m}^3$. A kezelendő víz összes keménysége: $\text{ÖK}_e = 4 \text{ mekv/l}$. Az ioncserélő gyanta mennyisége: $M_{\text{gy}} = 6250 \text{ l}$. Meghatározandó a gyanta hasznos kapacitása, a regenerálásnál a fajlagos NaCl igény, ha a regenerálásnál $G_{\text{NaCl}} = 1460 \text{ kg NaCl-ra}$ volt szükség.

Az ioncserélőben megkötött ionok mennyisége a két regenerálás között:

$$G_i = Q \cdot \text{ÖK} = 2500 \cdot 4 = 10000 \text{ ekv}$$

A gyanta hasznos kapacitása:

$$k_h = \frac{G_i}{M_{\text{gy}}} = \frac{10000}{6250} = 1,6 \text{ ekv/l}$$

A regeneráláshoz felhasznált konyhasó mennyisége ekvivalensben kifejezve (M_{NaCl} : az NaCl mólőtömege):

$$G_{e\text{NaCl}} = \frac{G_{\text{NaCl}}}{M_{\text{NaCl}}} \cdot 1000 = \frac{1460}{58,5} \cdot 1000 \approx 25000 \text{ ekv}$$

A fajlagos NaCl felhasználás pedig:

$$f_{e\text{NaCl}} = \frac{G_{\text{NaCl}}}{G_i} = \frac{25000}{10000} = 2,5 \text{ ekvNaCl/ekvÖK}$$

ill. g-ban a nk° függvényében:

$$f_{g\text{NaCl}} = \frac{G_{\text{NaCl}}}{Q \cdot \text{ÖK}_e \cdot 2,8} \cdot 1000 = \frac{1460}{2500 \cdot 4 \cdot 2,8} \cdot 1000 \approx 52,2 \text{ gNaCl/m}^3 \cdot \text{nk}^\circ$$

II.2.10.2.12. Meghatározandó az ioncserélő regenerálási paraméterei, ha a kiindulási adatok a következők:

A két regenerálás között kezelt víz mennyisége: $Q = 2000 \text{ m}^3$

Annak összkeménysége: $\text{ÖK} = 3 \text{ mekv/l}$

A regeneráló NaCl fajlagos felhasználási igénye: $f_{e\text{NaCl}} = 2,5 \text{ ekv/ekv}$

Az NaCl tömény oldat koncentrációja: $c_t = 310 \text{ g/l}$

A hígított NaCl oldat koncentrációja: $c_{\text{th}} = 84 \text{ g/l}$

A regenerálás térfogatárama: $\dot{V}_R = 8 \text{ m}^3 / \text{h}$

A két regenerálás közben megkötött ionok mennyisége:

$$G_i = Q \cdot \text{ÖK} = 2000 \cdot 3 = 6000 \text{ ekv}$$

A regeneráláshoz szükséges NaCl mennyisége:

$$G_{e\text{NaCl}} = G_i \cdot f_{e\text{NaCl}} = 6000 \cdot 2,5 = 15000 \text{ ekv}$$

Azaz:

$$G_{\text{NaCl}} = \frac{G_{e\text{NaCl}} \cdot M_{\text{NaCl}}}{1000} = \frac{15000 \cdot 58,5}{1000} = 877,5 \text{ kg} \approx 878 \text{ kg}$$

A tömény oldat térfogata:

$$V_t = \frac{G_{\text{NaCl}}}{c_t} = \frac{878}{310} = 2,83 \text{ m}^3$$

Az óránként szükséges tömény sóoldat mennyisége, $Q_{t\text{NaCl}}$:

$$Q_{\text{NaCl}} = \dot{V} \cdot c_{\text{th}} = 8 \cdot 84 = 672 \text{ kg/h}$$

Ezáltal:

$$Q_{tNaCl} = \frac{Q_{NaCl}}{c_t} = \frac{672}{310} = 2,17 \text{ m}^3 / \text{h}$$

A regeneráláshoz a tömény oldatot hígítani kell. A hígítóvíz igény, Q_h :

$$Q_h = \dot{V}_R - Q_{tNaCl} = 8 - 2,17 = 5,83 \text{ m}^3/\text{h}$$

A regenerálás időigénye, t_R :

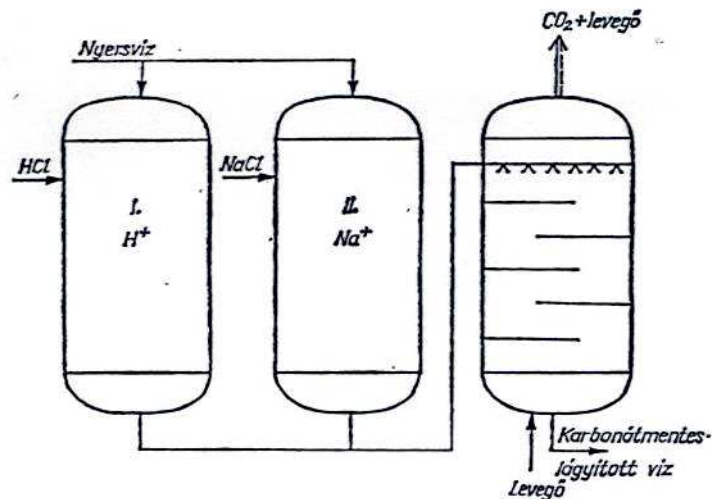
$$t_R = \frac{G_{NaCl}}{\dot{V} \cdot c_{th}} = \frac{878}{8 \cdot 84} = 1,31 \text{ h}$$

Egy regenerálás alatt szükséges hígítóvíz mennyisége, Q_{Rh} :

$$Q_{Rh} = Q_h \cdot t_R = 5,83 \cdot 1,31 = 7,64 \text{ m}^3$$

II.2.10.2.13. Részáramos sótalánítás ioncserével.

A folyamat során egy H^+ -ion cserélőben a nyersvíz kationjai cserélődnek ki, míg az Na^+ formájú erősen savas kationcserélőn a többi anionból keletkezik erős sav.



45. ábra: Párhuzamosan kapcsolt részleges sótalánítás

Milyen arányban kell a lággyítandó nyers vizet megosztani, ha a kiindulási és kívánt sótartalmak jellemzői:

nyers víz: m-lúgosság. $3,8 \text{ mekv/l} = m_1$
 -m szám: $1,5 \text{ mekv/l}$

kezelt víz: m-lúgosság $0,2 \text{ mekv/l} = m_2$

A H^+ -ioncserélőn átfolyó víz százalékos mennyisége:

$$Q_H = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + (-m)} \cdot 100 = \frac{3,8 - 0,2}{3,8 + 1,5} = 67,9 \%$$

Ezek után az Na^+ formájú anioncserélőre adott kezelendő vízhányad:

$$Q_{Na} = 100 - Q_H = 100 - 67,9 = 32,1 \%$$

A két ioncserélőn átfolyó víz aránya, r_a :

$$r_a = \frac{m_1 - m_2}{-m + m_2} = \frac{3,8 - 0,2}{1,5 + 0,2} = 2,11 = \frac{Q_H}{Q_{Na}}$$

$$r_a = \frac{Q_H}{Q_{Na}} = \frac{67,9}{32,1} = 2,11$$

Azaz a kezelendő víz megosztása 2,11:1 arányú a két kationcserélőn.

II.2.10.2.14. Méretezendő egy kétlépcsős sótalánító (erősen savas H^+ -ill. erősen bázisos anioncserélő) az alábbi kiindulási adatok ismeretében:

A sótalánítandó víz jellemzői:

p-lúgosság: 0,7 mekv/l

m-lúgosság: 0,9 mekv/l

-m érték (mérés alapján): 1,6 mekv/l

A teljesítmény igény: $q = 90 \text{ m}^3/\text{h}$

Két regenerálás között termelt tisztított víz: $Q = 2500 \text{ m}^3$

Az ioncserélők főbb paraméterei:

megengedett áramlási sebesség: $v_a = \max 40 \text{ m/h}$

megengedett fajlagos terhelés:

kationcserélőnél: $q_{fk} = 10 \dots 80 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$

anioncserélőnél: $q_{fa} = 10 \dots 50 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$

A gyantaoszlop minimális magassága: $H_{gy} = 1,5 \text{ m}$

Regeneráláskor a szükséges lazulási tényező: $i = 1,8$

A gyanta hasznos kapacitása:

a kationcserélőnél: $K_{hk} = 1,6 \text{ ekv/l}$

az anioncserélőnél: $K_{ha} = 1,0 \text{ ekv/l}$

A regenerálás jellemző adatai:

a vegyszeroldatok átfolyási sebessége: $v_v = 3,5 \text{ m/h}$

A fajlagos regenerálószer oldat felhasználás:

sósavból: $r_s = 220 \%$

lúgból: $r_l = 250 \%$

Az oldatok koncentrációja:

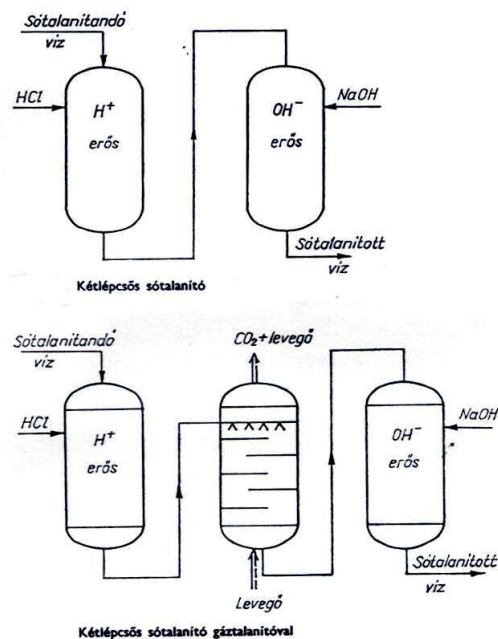
sósav: $k_s = 8 \%$

lúg: $k_l = 4 \%$

A rendelkezésre álló tömény sav és lúg koncentrációja:

sósav: $k_{st} = 32 \%$

lúg: $k_{lt} = 46 \%$



46. ábra: Kétlépcsős sótalánító gáztalanítóval és anélkül.

A kation (H^+)-cserélő méretezése:

A két regenerálás között megkötött kationok mennyisége:

$$G_{ik} = Q [m + (-m)] = 2500 \cdot (0,9 + 1,5) = 6000 \text{ ekv}$$

A kationcserélő gyantaigény:

$$M_k = \frac{G_{ik}}{K_{hk} \cdot 1000} = \frac{6000}{1,6 \cdot 1000} = 3,75 \text{ m}^3$$

A kationcserélő fajlagos terhelése:

$$q_{tk} = \frac{q}{M_k} = \frac{90 \text{ m}^3 / \text{h}}{3,75 \text{ m}^3} = 24 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{h}$$

Ez az érték kisebb, mint maximális $80 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{h}$.

A szükséges gyantaoszlop keresztmetszet:

$$F_k = \frac{M_k}{H_{gy}} = \frac{3,75 \text{ m}^3}{1,5 \text{ m}} = 2,5 \text{ m}^2,$$

mellyel a tartály szükséges átmérője:

$$d = \sqrt{\frac{4F_k}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,5}{\pi}} = \sqrt{3,18} \approx 1,8 \text{ m}$$

A kationcserélő tartály szükséges hengeres magassága (a regeneráláskor előálló fellazulás miatt):

$$H_{kt} = H_{gy} \cdot i = 1,5 \cdot 1,8 = 2,7 \text{ m},$$

a biztonság miatt ez esetben célszerű $H_{kt} = 3 \text{ m}$ -t választani.

Az ioncsere folyamatban a kezelendő víz áramlási sebessége a gyantaoszlopban:

$$v_{at} = \frac{q}{F_k} = \frac{90 \text{ m}^3 / \text{h}}{2,5 \text{ m}^2} = 36 \text{ m} / \text{h} < 40 \text{ m} / \text{h}$$

Az anioncserélő fő paraméterei:

A két regenerálás között megkötött anionok mennyisége:

$$G_{ia} = Q[m + (-m) - (2p - m)] = 2500 \cdot [0,9 + 1,5 - (2 \cdot 0,7 - 0,9)] = 2500 \cdot (2,4 - 0,5) = 4750 \text{ ekv}$$

A gyanta mennyiség igény:

$$M_a = \frac{G_{ia}}{K_{ha} \cdot 1000} = \frac{4750}{1,0 \cdot 1000} = 4,75 \text{ m}^3$$

Az anioncserélő fajlagos terhelése:

$$q_{fk} = \frac{q}{M_a} = \frac{90 \text{ m}^3 / \text{h}}{4,75 \text{ m}^3} = 18,95 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{h},$$

mely érték kisebb, mint $50 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{h}$.

Az anioncserélő oszlop szükséges keresztmetszete ill. átmérője:

$$F_a = \frac{M_a}{H_{gy}} = \frac{4,75 \text{ m}^3}{1,5 \text{ m}} \approx 3,16 \text{ m}^2,$$

$$d = \sqrt{\frac{4F_a}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,16}{\pi}} = \sqrt{4,03} = 2,008 \approx 2,0 \text{ m}, \text{ ilyen átmérőjű tartály választható.}$$

Az anioncserélő gyantaoszlop magassága:

$$H_{igva} = \frac{M_a}{F_{at}} = \frac{4,75}{3,14} = 1,513 \text{ m}$$

Tartály	ioncserélő gyanta
---------	-------------------

Átmérő Mm	Keresztmetszet m ²	Mennyiség m ³	Rétegvastagság, m	
			min.	max.
315	0,078	0,061...0,108	0,8	1,4
400	0,125	0,1...0,175	0,8	1,4
450	0,159	0,127...0,222	0,8	1,4
500	0,196	0,156...0,273	0,8	1,4
630	0,310	0,248...0,433	0,8	1,4
800	0,5	0,4...0,7	0,8	1,4
900	0,635	0,57...0,89	0,9	1,4
1000	0,78	0,78...1,25	1,0	1,6
1250	1,22	1,22...1,95	1,0	1,6
1400	1,54	1,53...2,45	1,0	1,6
1600	2,0	2,4...3,2	1,2	1,6
1800	2,53	3,04...4,55	1,2	1,8
2000	3,14	3,78...5,65	1,2	1,8
2200	3,8	5,3...7,6	1,4	2,0
2500	4,9	6,85...9,8	1,4	2,0
2800	6,15	9,7...14,0	1,6	2,3
3150	7,8	13,8...18,5	1,8	2,4
3500	9,6	17,2...26,8	1,8	2,8
4000	12,56	25...37,5	2,0	3,0
4500	15,9	31,6...50,5	2,0	3,2
5000	19,62	49...68,5	2,5	3,5

43. táblázat: Ioncserélő tartályok jellemző adatai

Az ioncserélő tartály hengeres részének magassága pedig:

$$H_{at} = H_{igya} \cdot i = 1,513 \cdot 1,8 = 2,72 \text{ m,}$$

biztonság miatt célszerű $H_{at} = 3 \text{ m-t}$ választani.

A gyantaoszlopban előálló áramlási sebesség ellenőrzése:

$$v_{at} = \frac{q}{F} = \frac{90 \text{ m}^3 / \text{h}}{3,14 \text{ m}^2} = 28,66 \text{ m} / \text{h}, \text{ mely } < v_{\max} = 40 \text{ m} / \text{h}$$

A regeneráláshoz szükséges vegyszermennyiségek, vízigények, szivattyú paraméterek:

A H^+ -ioncserélő regenerálása:

A regeneráláshoz szükséges sósav mennyisége:

$$G_{HCl} = r_s \cdot q \cdot T \cdot c_i = r_s \cdot Q \cdot c_i$$

ahol:

T : az ioncsereoszlop működésének időtartama

$$T = \frac{Q}{q} = \frac{2500 \text{ m}^3}{90 \text{ m}^3 / \text{h}} = 27,28 \text{ h}$$

c_i : a kicserélendő ionok koncentrációja a nyersvízben (erősen savas ioncserélőn):

$$c_i = m + (-m) = 0,9 + 1,6 = 2,5 \text{ ekv/m}^3$$

Behelyettesítve:

$$G_{HCl} = 2,2 \cdot 90 \cdot 27,28 \cdot 2,5 = 2,2 \cdot 2500 \cdot 2,5 = 13750 \text{ ekv}$$

Tömegységben kifejezve:

$$G_{HClm} = \frac{G_{HCl} \cdot E_v}{1000}$$

Ahol:

E_v : a regenerálószer egyenérték tömege

$$E_v = \frac{M_{HCl}}{e}$$

M: moláris tömeg; $M_{HCl} = 36,5$

e: vegyérték; $e_{HCl} = 1$

Behelyettesítve:

$$G_{HClm} = \frac{13750 \cdot 36,5}{1000 \cdot 1} \approx 502 \text{ kg}$$

A szükséges tömény sósavoldat igény:

$$G_{HClO} = \frac{G_{HClm}}{c_t}$$

c_t : a tömény oldat koncentrációja, g/l, mely $k_{st} = 32$ %-os töménységet feltételezve, a 44. táblázatból leolvasott sűrűség ismeretében 20 °C-on:

HCl, %	Hőmérséklet, °C							
	-5	0	10	20	40	60	80	100
1	1,0048	1,0052	1,0048	1,0032	0,9970	0,9881	0,9768	0,9636
2	1,0104	1,0106	1,0100	1,0082	1,0019	0,9930	0,9819	0,9688
4	1,0213	1,0213	1,0202	1,0181	1,0116	1,0026	0,9919	0,9791
6	1,0321	1,0319	1,0303	1,0279	1,0211	1,0121	1,0016	0,9892
8	1,0428	1,0423	1,0403	1,0376	1,0305	1,0215	1,0111	0,9992
10	1,0536	1,0528	1,0504	1,0474	1,0400	1,0310	1,0206	1,0090
12	1,0645	1,0634	1,0607	1,0574	1,0497	1,0406	1,0302	1,0188
14	1,0754	1,0741	1,0711	1,0675	1,0594	1,0502	1,0398	1,0286
16	1,0864	1,0849	1,0815	1,0776	1,0692	1,0598	1,0494	1,0383
18	1,0975	1,0958	1,0920	1,0878	1,0790	1,0694	1,0590	1,0479
20	1,1087	1,1067	1,1025	1,0980	1,0888	1,0790	1,0685	1,0574
22	1,1200	1,1177	1,1131	1,1083	1,0986	1,0886	1,0780	1,0668
24	1,1314	1,1287	1,1238	1,1187	1,1085	1,0982	1,0874	1,0761
26	1,1426	1,1396	1,1344	1,1290	1,1183	1,1076	1,0967	1,0853
28	1,1537	1,1505	1,1449	1,1392	1,1280	1,1169	1,1058	1,0942
30	1,1648	1,1613	1,1553	1,1493	1,1376	1,1260	1,1149	1,1030
32	...	...	...	1,1593				
34	...	...	...	1,1691				
36	...	...	...	1,1789				
38	...	...	...	1,1885				
40	...	...	...	1,1980				

44. táblázat: A HCl-oldat ρ_t sűrűsége (g/cm³) az oldat %-os töménysége függvényében

$$c_t = k_{st} \cdot 10 \cdot \rho_t = 32 \cdot 10 \cdot 1,1593 = 371 \text{ g/l}$$

Behelyettesítve:

$$G_{HClO} = \frac{502 \text{ kg}}{371 \text{ kg/m}^3} = 1,36 \text{ m}^3$$

A 32 %-os HCl oldat tömege:

$$G_{tHClO} = G_{HClO} \cdot \rho_t = 1,36 \text{ m}^3 \cdot 1,159 \text{ kg/l} \cdot 1000 = 1,577 \text{ kg}$$

A hígított, 8 %-os sósavoldat térfogata:

$$G_{hHCl} = \frac{G_{HClm}}{c_{8\%}} = \frac{G_{HClm}}{k_s \cdot 10 \cdot \rho_{8\%}} = \frac{502}{8 \cdot 10 \cdot 1,036} = \frac{502}{83} = 6,05 \text{ m}^3$$

A hígításhoz szükséges vízigény:

$$G_{\text{hígítás}} = G_{\text{HCl}} - G_{\text{HClO}} = 6,05 - 1,36 = 4,69 \text{ m}^3$$

A regenerálás ideje (a vegyszeroldat átfolyás időtartama):

$$t_{rk} = \frac{G_{\text{HCl}}}{F_k \cdot v_v} = \frac{6,05 \text{ m}^3}{\frac{1,8^2 \pi}{4} \text{ m}^2 \cdot 3,5 \text{ m/h}} = \frac{6,05}{8,906} \approx 0,68 \text{ h}$$

A HCl oldat átfolyás térfogatárama (a szivattyú min. szállítóképessége):

$$\dot{Q}_{hk} = \frac{G_{\text{HCl}}}{t_{rk}} = \frac{6,05}{0,68} \approx 9 \text{ m}^3 / \text{h}$$

A sósavoldat tömegárama:

$$\dot{G}_{\text{HCl}} = \dot{Q}_{hk} \cdot c_{8\%} = 9 \cdot 83 = 747 \text{ kg/h}$$

A szállítandó tömény sósavoldat térfogatárama:

$$\dot{Q}_{tk} = \frac{\dot{G}_{hk}}{c_t} \text{ ill. } \dot{Q}_{tk} = \frac{G_{\text{HClO}}}{t_r}$$

$$\dot{Q}_{tk} = \frac{747}{371} = \frac{1,36}{0,68} \approx 2 \text{ m}^3 / \text{h}$$

A hígítóvíz szükséges térfogatárama:

$$\dot{Q}'_{hk} = \dot{Q}_{hk} - \dot{Q}_t = 9 - 2 = 7 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Az anioncserélő regenerálási paraméterei:

A regeneráláshoz szükséges NaOH mennyisége:

$$G_{\text{NaOH}} = r_e \cdot q \cdot T \cdot c_{ie} = r_e \cdot Q \cdot c_{ie} = r_e \cdot G_{ia}$$

c_{ie} : az anioncserélőn leválasztott ionkoncentráció

Erősen bázisos anioncserélőn megkötött anionok koncentrációja:

$$c_{ie} = m + (-m) - (2p-m) \text{ ekv/l}$$

$$G_{\text{NaOH}} = r_e \cdot G_{ia} = 2,5 \cdot 4750 = 11875 \text{ ekv}$$

azaz

$$G_{m\text{NaOH}} = \frac{G_{\text{NaOH}} \cdot E_{v\text{NaOH}}}{1000} = \frac{11875 \cdot 40}{1000} = 475 \text{ kg}$$

A regeneráláshoz szükséges tömény (46 %-os) NaOH oldat mennyisége:

$$G_{\text{NaOHo}} = \frac{G_{m\text{NaOH}}}{c_t}$$

A c_t töményoldat koncentrációjának meghatározása a 45. táblázat segítségével (20 °C-on):

$$c_t = K_{et} \cdot 10 \cdot \rho_{t\text{NaOH}}$$

NaOH, %	Hőmérséklet, °C						
	0	15	20	40	60	80	100
1	1,0124	1,01065	1,0095	1,0033	0,9941	0,9824	0,9693
2	1,0244	1,02198	1,0207	1,0139	1,0045	0,9929	0,9797
4	1,0482	1,04441	1,0428	1,0352	1,0254	1,0139	1,0009
8	1,0943	1,08887	1,0869	1,0780	1,0676	1,0560	1,0432
12	1,1399	1,13327	1,1309	1,1210	1,1101	1,0983	1,0855
16	1,1849	1,17761	1,1751	1,1645	1,1531	1,1408	1,1277
20	1,2296	1,22183	1,2191	1,2079	1,1960	1,1833	1,1700
24	1,2741	1,26582	1,2629	1,2512	1,2388	1,2259	1,2124
28	1,3182	1,3094	1,3064	1,2942	1,2814	1,2682	1,2546
32	1,3614	1,3520	1,3490	1,3362	1,3232	1,3097	1,2960

36	1,4030	1,3933	1,3900	1,3768	1,3634	1,3498	1,3360
40	1,4435	1,4334	1,4300	1,4164	1,4027	1,3889	1,3750
44	1,4825	1,4720	1,4685	1,4545	1,4405	1,4266	1,4127
48	1,5210	1,5102	1,5065	1,4922	1,4781	1,4641	1,4503
50	1,5400	1,5290	1,5253	1,5109	1,4967	1,4827	1,4690

45. táblázat: Az NaOH-oldat ρ_t sűrűsége (g/cm^3) az oldat százalékos töménysége függvényében

$$c_t = 46 \cdot 10 \cdot 1,4875 = 684,25 \text{ g/l}$$

Ennek behelyettesítésével:

$$G_{\text{NaOHo}} = \frac{475 \text{ kg}}{684,25 \text{ kg/m}^3} \approx 0,7 \text{ m}^3$$

A tömény NaOH oldat tömege:

$$G_{\text{tNaOHo}} = G_{\text{NaOHo}} \cdot \rho_{\text{tNaOH}} = 0,7 \cdot 1,4875 \cdot 1000 = 1041,25 \text{ kg}$$

A hígított NaOH oldat (4 %-os) térfogata:

$$G_{\text{hNaOH}} = \frac{G_{\text{mNaOH}}}{k_l \cdot 10 \cdot \rho_{4\%}} = \frac{475}{4 \cdot 10 \cdot 1,0428} = 11,39 \text{ m}^3$$

A hígítóvíz igény:

$$G_{\text{hígító}} = G_{\text{hNaOH}} - G_{\text{NaOHo}} = 11,39 - 0,7 = 10,69 \text{ m}^3$$

Az anioncserélő regenerálásának, az NaOH oldat átáramoltatásának ideje:

$$t_{ra} = \frac{G_{\text{hNaOH}}}{F_a \cdot v_v} = \frac{11,39 \text{ m}^3}{\frac{2^2 \pi}{4} \text{ m}^2 \cdot 3,5 \text{ m/h}} = 1,036 \text{ h}$$

A híg NaOH oldat oszlopon történő átfolyásának szükséges térfogatárama:

$$\dot{Q}_{ha} = \frac{G_{\text{hNaOH}}}{t_{ra}} = \frac{11,39}{1,036} \approx 11 \text{ m}^3 / \text{h}$$

A szállítandó tömény NaOH-oldat térfogatárama:

$$\dot{Q}_{ta} = \frac{G_{\text{NaOHo}}}{t_{ra}} = \frac{0,7 \text{ m}^3}{1,036 \text{ h}} = 0,676 \text{ m}^3 / \text{h}$$

A hígítóvíz szükséges térfogatárama:

$$\dot{Q}'_{ha} = \dot{Q}_{ha} - \dot{Q}_{ta} = 11 - 0,676 = 10,32 \text{ m}^3 / \text{h}$$

FELHASZNÁLT IRODALMAK

BEER, LEITHOLD, MUNKELT, OPITZ

Vegyipari példatár

Műszaki Könyvkiadó Budapest 1978

ISBN 963 10 2469 5

BENEDEK PÁL:

Biológiai szennyvíztisztító rendszerek

Vízügyi Műszaki Gazdasági tájékoztató, VÍZDOK, Budapest, 1977

BENEDEK PÁL:

Fázisszétválasztás a szennyvíztisztításban

Vízügyi Műszaki Gazdasági tájékoztató, VÍZDOK, Budapest, 1977

BENEDEK PÁL, VALLÓ SÁNDOR:

Víztisztítás – Szennyvíztisztítás zsebkönyv

Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976

ISBN 963 10 0897 5

CHOVANECZ TIBOR

Az ipari víz előkészítése

Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979

DIPL.-ING. WERNER HEMMING

Verfahrenstechnik

Vogel Buchverlag

ISBN 3-8023-1488-3

HORVÁTH IMRE:

Környezetgazdálkodási – vízminőségi Praktikum

Környezetgazdálkodási Intézet

Budapest, 1994

HORVÁTH IMRE:

Vízügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató 33

Víz és Szennyvíztisztítási mérési adatok feldolgozása I.

VÍZDOK, Budapest, 1971

HORVÁTH IMRE:

Vízügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató 34

Víz és Szennyvíztisztítási mérési adatok feldolgozása II.

VÍZDOK, Budapest, 1971

HORVÁTH IMRE:

Szennyvíztisztítási technológiai számítások,

Kézirat, BME Méternöki Továbbképző Intézet

Budapest, 1982

HORVÁTH IMRE:

Ülepítés a víz és szennyvíztisztítási technológiában
Kézirat, BME Mérnöki Továbbképző Intézet
Budapest, 1981

ILLÉS I. – HORVÁTH L.:

Víz tisztaságvédelmi módszerek és berendezések II.
Kézirat
Tankönyvkiadó, Budapest, 1977

KIJACSKO – APELCIN

Természetes vizek tisztítása
VÍZDOK, Budapest, 1975

JOHN H. PERRY

Vegetszmérnökök Kézikönyve I. kötet
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968

TAKÁCS J.:

Víz- és szennyvíztisztítási eljárások és technológiák fejlesztése és optimalása
PhD. Tézisfüzet, Miskolc, 1997

VAJTA L., SZEBÉNYI I.:

Kémiai technológia
Tankönyvkiadó, Budapest, 1970

U. WIESMANN:

Abwasserreinigung I. – II.
Kézirat, TU Berlin

MATTHIAS STIEß

Mechanische Verfahrenstechnik 1
Springer – Verlag, Berlin Heidelberg 1995
ISBN 3-540-59413-2