

## 6.2. Termikus eljárások

### 6.2.1. Települési és veszélyes hulladékok égetése

*Fejezet szerzője: Dr. Bokányi Ljudmilla, Dr. Mádainé Üveges Valéria*

A hulladékgazdálkodással kapcsolatos minden szabályozás alapvető célja az emberi egészség és a környezet védelme a hulladék gyűjtése, szállítása, kezelése, tárolása és lerakása által okozott káros hatások ellen. Az Európai Unió Irányelvek alapján elsősorban a hulladék keletkezésének és veszélyességének megelőzését, az újra használatát kell elősegítenünk, másodsorban a hulladék anyagában-, harmadszor energiaforrásként történő hasznosítását kell megvalósítanunk.

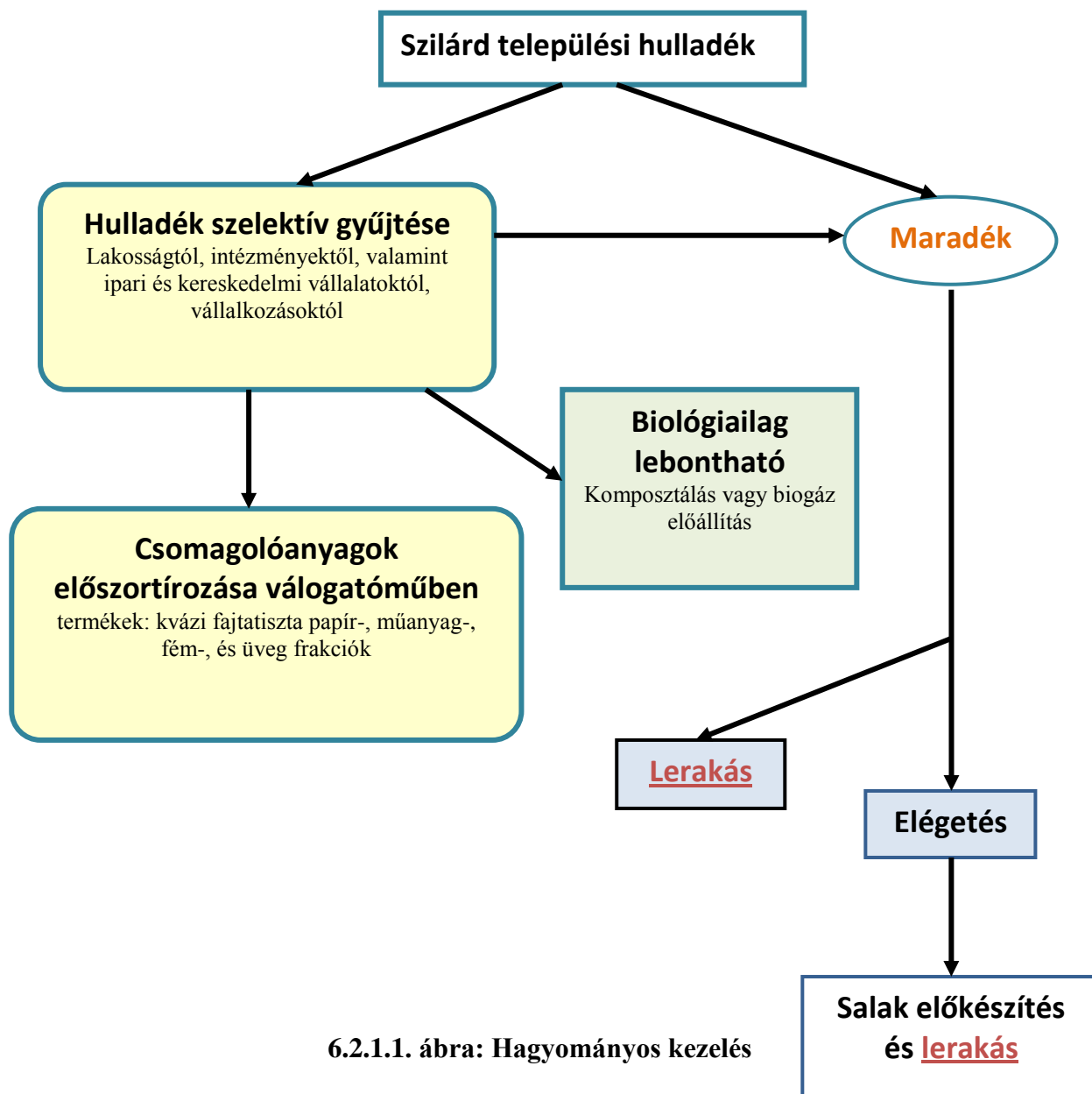
A szilárd települési hulladékok kezelésére vonatkozóan a termikus eljárások közül a legszokványosabb megoldás a hulladékégetőben történő elégetés. A folyamat során a Waste to Energy elv érvényesül, hiszen az égetés során keletkező hőenergiát hasznosítjuk.

A hulladékégetésnek számos előnye van:

- a hulladék 80-95%-os nagyon gyors térfogatcsökkenése, 60-70%-os tömegcsökkenése
- maga az eljárás közegészségügyi szempontból is hatékony, hiszen magas hőmérsékleten a kórokozók elpusztulnak, az éghető karcinogének, toxikus vagy biológiailag aktív szerves anyagok detoxikálódnak
- megújuló és környezetbarát energiaelőállítás: átlagosan 3,5MW/t hulladék, ami 300kg fűtőolaj ekvivalense; a keletkező CO<sub>2</sub> semlegesnek tekinthető az üvegházhatás tekintetében
- azáltal, hogy a szerves anyag nem kerül deponálásra, a hulladéklerakóban lejátszódó folyamatok, mint a gázképződés, felszínsüllyedés elkerülhetőek
- az égetés maradékanyagai többnyire kis oldhatóságúak, így a környezeti kockázat csökken a lerakáshoz képest

Hulladékégetés hátrányai:

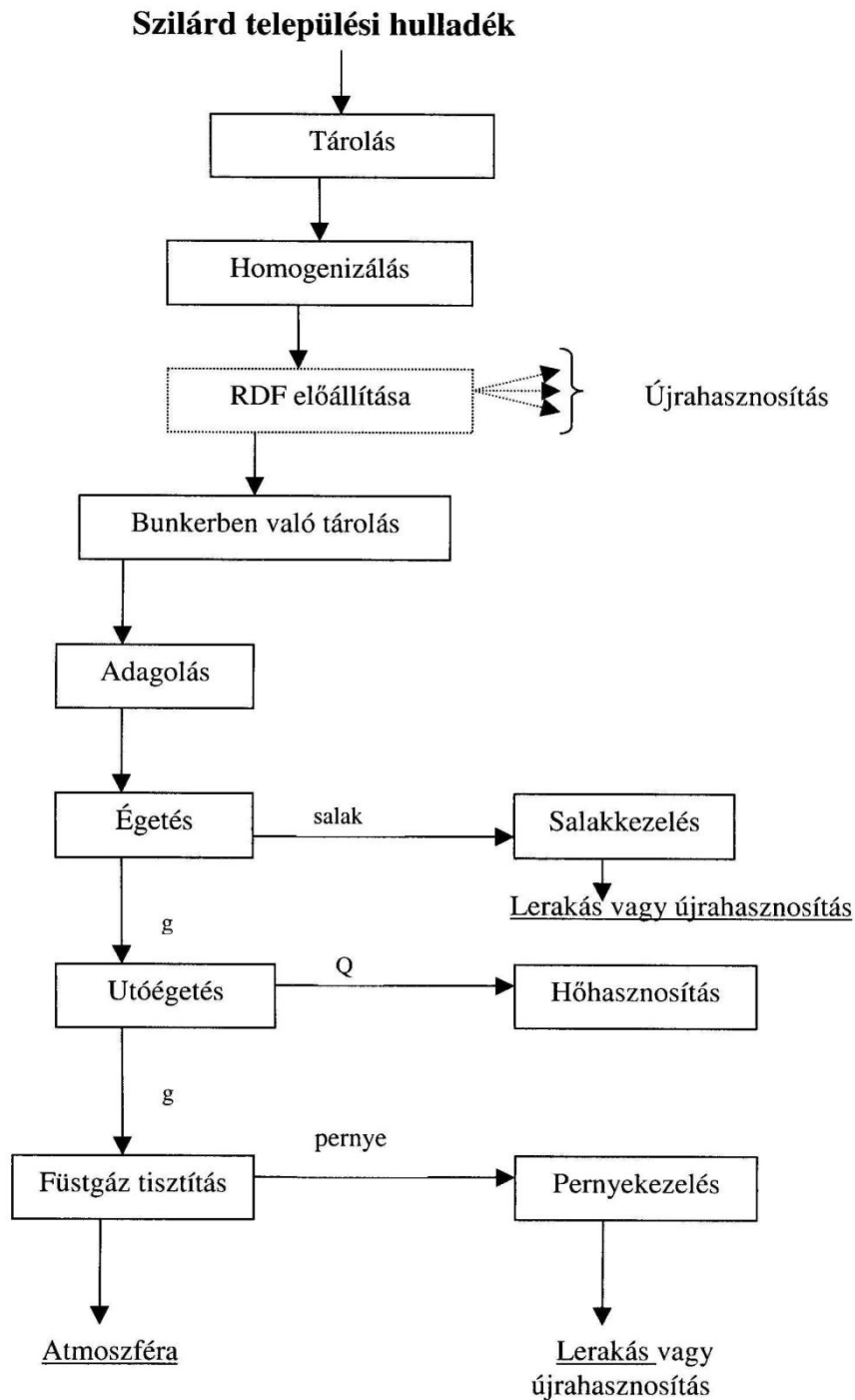
- az égetés másodlagos környezetszennyezéssel jár, ezek a légszennyezés, vízszennyezés, égetéskor keletkező pernye és salak elhelyezési problémái
- beruházási és üzemeltetési költségei lényegesen magasabbak a hagyományos eljárásokénál
- üzemeltetési problémák (a hulladék minőségének erős ingadozása, anyagkezelési problémák, karbantartás)
- munkaerő gondok
- társadalmi visszhang nem mindig előnyös
- technikai kockázat



6.2.1.1. ábra: Hagyományos kezelés

A fenti 6.2.1.1. ábrán a szilárd települési hulladékokra vonatkozó hagyományos kezelés sémája látható. A szelektíven gyűjtött csomagolóanyagok (műanyag palackok, üveg, papír, fémdobozok), szortírozás után újrahasznosításra kerülnek, illetve a szelektíven gyűjtött szerves frakció szintén hasznosítható. Az ilyen szerves hulladékból kiváló minőségű komposzt állítható elő, vagy a szükségletek felmérése után amennyiben arra van szükség biogáz termelhető belőle. A fel nem használható maradék frakcióval, illetve az ömlesztve gyűjtött hulladékkal alapvetően két lehetőség kínálkozik: a lerakón történő elhelyezés, és az égetés. Az égetés során nyert hőenergia tartalom hasznosítható, a keletkező salak kezeléséről, lerakásáról gondoskodni kell.

Az alábbi 6.2.1.2. ábrán a szilárd települési hulladékégetés folyamatábrája látható.



**6.2.1.2. ábra:hulladékégetés folyamatábrája**

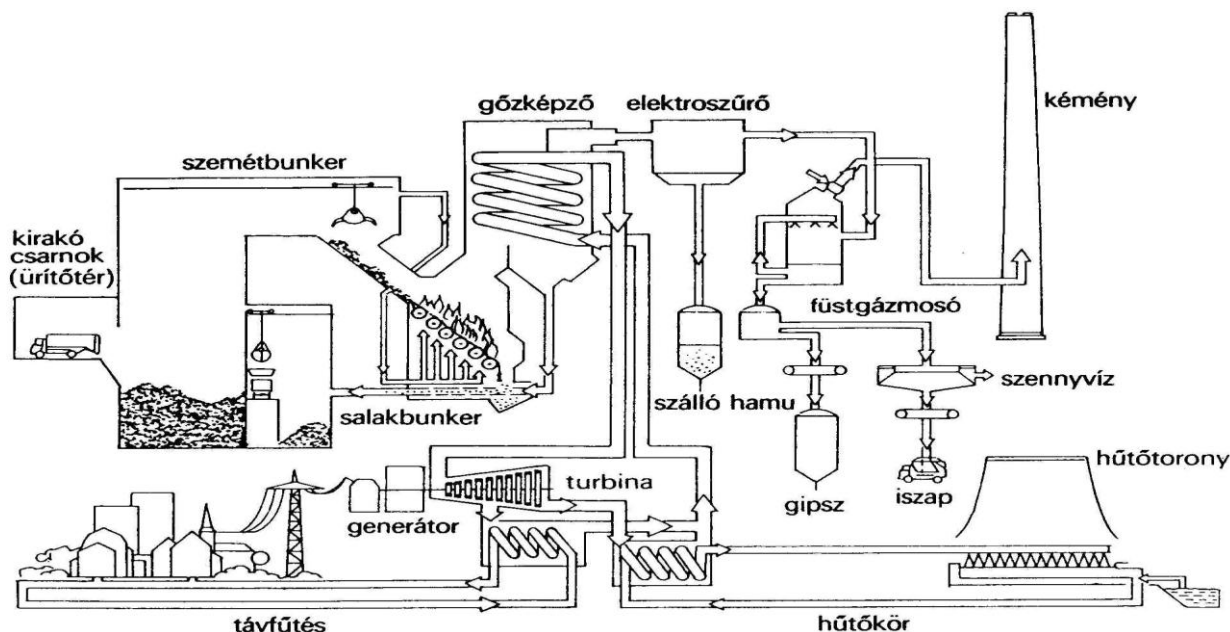
A beérkezett hulladék homogenizálása, keverése után következő lépés az RDF (refuse derived fuel) előállítás, ami tulajdonképpen a települési szilárd hulladékból előállítható, magas fűtőértékű frakció, másodlagos tüzelőanyag. Az RDF előállításához a különböző hulladékalkotó anyagokat, hulladéktípusokat szét kell szeparálni aszerint, hogy azok érdemesek-e égetésre, tehát előállítunk egy nagy és egy kis fűtőértékű frakciót. A hulladék fő alkotóit, valamint az adott anyagra alkalmazható szétválasztási eljárásokat mutatja az alábbi 6.2.1.1. táblázat.

### 6.2.1.1. táblázat: RDF előállítás eljárásai

<i>Alkotó</i>	<i>Eljárás</i>
Al- italos dobozok tárgyak	<ul style="list-style-type: none"> <li>• válogatás (kézi)</li> <li>• örvény áramú szeparálás</li> </ul>
Fe-italos dobozok, tárgyak	mágneses szeparálás
Papír, karton	<ul style="list-style-type: none"> <li>• válogatás (kézi)</li> <li>• légszeparálás</li> </ul>
Üveg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• válogatás</li> <li>• légszeparálás</li> </ul>
Műanyag	<ul style="list-style-type: none"> <li>• válogatás (kézi és röntgen emissziós)</li> <li>• légszeparálás</li> </ul>
Szerves frakció	osztályozás

A bomló szerves frakció eltávolítása szemcseméret szerinti osztályozással történhet, hiszen tipikusan a kis szemcsefrakció tartalmazza jelentős mértékben ezt a típust, azonban még ezután is jelentős mennyiség marad a nagyobb méretű darabokon megtapadva. Ezt kiküszöbölendő egyre inkább terjed a mechanikai- biológiai stabilizálási technológia alkalmazása, mely során a települési szilárd hulladékot tulajdonképpen aerob lebontásnak, komposztálásnak vetik alá. A komposztálás során a szerves frakció lebomlik, így a prizmak kibontása után a biostabilát szitálással eltávolítható, a visszamaradt hulladék pedig könnyebben kezelhető, alávethető a fent felsorolt eljárásoknak. Az égetés előtt a különböző fémes alkotókat mindenképpen célszerű eltávolítani, hiszen ezek anyagukban hordoznak értéket, energiatartalmukat nem tudjuk hasznosítani. Az égetéskor keletkező salak, és a füstgáz kezeléséről, tisztításáról szintén gondoskodni kell, ennek lehetséges eljárásait a későbbiekben tárgyaljuk.

A hulladékégetés komplett rendszerének bemutatására hivatott az alábbi 6.2.1.3. ábra, melyen egy hulladék hőerőmű tipikus munkafázisai láthatóak. A beszállított hulladék elsőként a szemétbunkerbe kerül, onnan adagolóberendezésen keresztül jut az égetőbe. Az ott keletkezett gőzöket, gázokat elvezetik az elektroszűrőre, ahol a finom szállópor leválasztása történik, majd ezután kerül a füstgázmosóra, végül a kéményen keresztül távozik. A keletkezett hőt gőz formájában, gőzturbinán keresztül villamos energiává alakítják, illetve a meleg víz fűtésre is kitűnően használható.



6.2.1.3. ábra: Szeméthőerőmű munkafázisai

### SZILÁRD TELEPÜLÉSI HULLADÉK ÉGETÉSE

A hulladékok tökéletes elégetéséhez megfelelő hőmérséklet, megfelelő áramlási viszonyok, tartózkodási idő valamint a szokásosnál nagyobb mennyiségű levegő bevezetése szükséges.

A kívánt minimális tüztérhőmérséklet  $> 850\text{ °C}$ , a légfelesleg-tényező értéke 1,5–2,5, a füstgázoknak a tüztérben való tartózkodási ideje 2–3 s szilárd hulladékok és 0,5–1 s folyékony hulladékok égetésekor, eközben a minimális oxigéntartalom 6%. A megfelelő áramlási viszonyok egyrészt mechanikai eszközökkel (mozgó rostélyok, forgó kemence, bolygatószerkezet), másrészt áramlástanai módszerekkel (gázáramok irányított mozgatása) teremthetők meg.

A legtöbb hulladékégetőben a szervesetlen maradékok (salak, pernye) lágyulás-olvadási jellemzői miatt a tüztéri hőmérséklet nem haladja meg az  $1050\text{--}1100\text{ °C}$ -ot. Az égetés azonban  $1200\text{--}1700\text{ °C}$ -on is végezhető, ekkor beszélünk salakolvasztásos hulladékégetésről, így a szilárd maradék olvadékként távozik az égéstérből.

Az égetés szilárd maradékanyagának mennyisége az elégetett hulladék típusától függ. Szilárd települési hulladék égetésekor a maradék mennyisége kb. 10 tf% valamint 30–35 (salakolvasztásos tüzelésnél 15–25) tömeg%, folyékony és iszaphulladék égetésekor pedig átlagosan 2–10 tömeg%.

A hulladék égetéssel történő ártalmatlanításához szükséges ismernünk:

- halmazállapot (folyékony, pasztás, szilárd, ill. kevert);
- szilárd hulladék esetében szemcseméret-eloszlás, maximális darabnagyság, valamint anyagfajták szerinti összetétel
- elemi analízissel megállapított kémiai összetétel (szén-, hidrogén-, oxigén-, nitrogén-, kén-, víz-és hamutartalom);
- gyors analízissel megállapított összetétel (fix szén-, illóanyag-, víz-és hamutartalom);
- KOI, BOI, nehézfémek (*Cd, Hg, Pb, Zn, Cr, Cu, Be, As, Se, Ni, Ag*) és szerves toxikus vegyületek (pl.: PCB-k).

- salak összetétele és jellemzői (1050-1100 °C - szilárd salak, 1200-1700 °C – olvadék salak). *Összetétel:* SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> (zárványokban), *jellemzői:* viszkozitás, beragadási hajlam, toxicitás.
- pernye összetétele és toxicitása
- füstgáz összetétele, füstölő hajlama
- fűtőérték;
- sűrűség
- folyékony hulladék esetében viszkozitás, gyulladás-és lobbanáspont, valamint szilárd szennyezőanyag-tartalom és annak legnagyobb szemcsemérete, továbbá a kémhatás;
- halogénanyag-tartalom (kloridok, fluoridok, bromidok);
- nehézfém-tartalom (ólom, kadmium, higany, réz, vanádium stb.);
- egyéb fém-tartalom (vas, kalcium, nátrium stb.);
- egyéb mérgezőanyag-tartalom (PCB);
- egyéb specifikus anyagi tulajdonságok szükség szerint (pl. fertőző tulajdonság, hőmérséklet stb.);
- mennyiségi adatok (szélső határok és átlagértékek).
- tüzeléstechnikai szempontból elsősorban a kalorikus tulajdonságok fontosak (fűtőérték, éghetőanyag-tartalom, víztartalom és hamutartalom).

Hulladékégetés során nagyon fontos az anyagmérleg számítása, melyhez minden anyagáramot fel kell mérni.

A bemenő anyagok:

- égetendő hulladék
- égéslevegő
- segédtüzelés

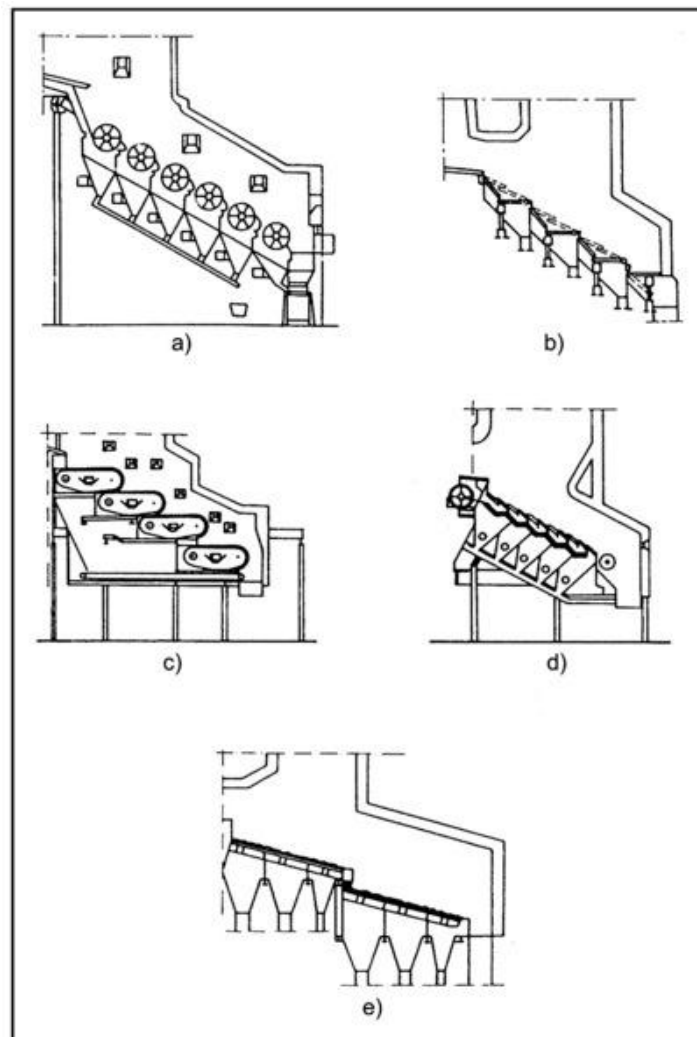
A kimenő anyagok (a teljes ciklust figyelembe véve)

- salak, hamu
- pernye és /vagy elektrofilter por
- füstgáz
- füstgáz mosó szennyvíz (nedves mosás esetén)
- mosóvíz tisztítási iszap (nedves mosás esetén)
- füstgáz tisztítási maradék (száraz, félszáraz tisztítás során)
- egyéb füstgáz tisztítási maradék( aktív szén vagy egyéb adszorbens)

## Tüzelő berendezések

A hulladékégetők legfontosabb része a tüzelőberendezés. A tüzelőberendezések két fő csoportját a rostélytüzelésű és a rostély nélküli hulladékégető berendezések alkotják.

A **rostélytüzelésű** berendezéseket főleg települési szilárd és termelési szilárd hulladék és bizonyos korlátozásokkal iszap halmazállapotú termelési hulladék égetésére alkalmazzák. A legáltalánosabban használt rostélytípusok: hengerrostély (VKW-Babcock), visszatoló rostély (Martin), előtoló lengőrostély (Steinmüller), ellenáramú előtoló rostély (K + K Ofenbau). További ritkábban használatos rostélytípusok: fölétoló rostély, kosárrostély, forgórostély. A rostélyok átlagos termikus terhelhetősége  $2000\text{--}4000 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \times \text{h})$ . A 6.2.1.4. ábrán néhány rostélytípus kialakítása látható. A rostélyok egyrészt biztosítják a hulladék állandó keverését, mozgását, másrészt az égéság megfelelő levegőztetését teszik lehetővé.



6.2.1.4. ábra:- A hulladékégetők leggyakoribb rostélytípusai

- a) hengerrostély; b) lengőrostély; c) lépcsős vándorrostély; d) visszatoló rostély; e) lépcsős előtolórostély

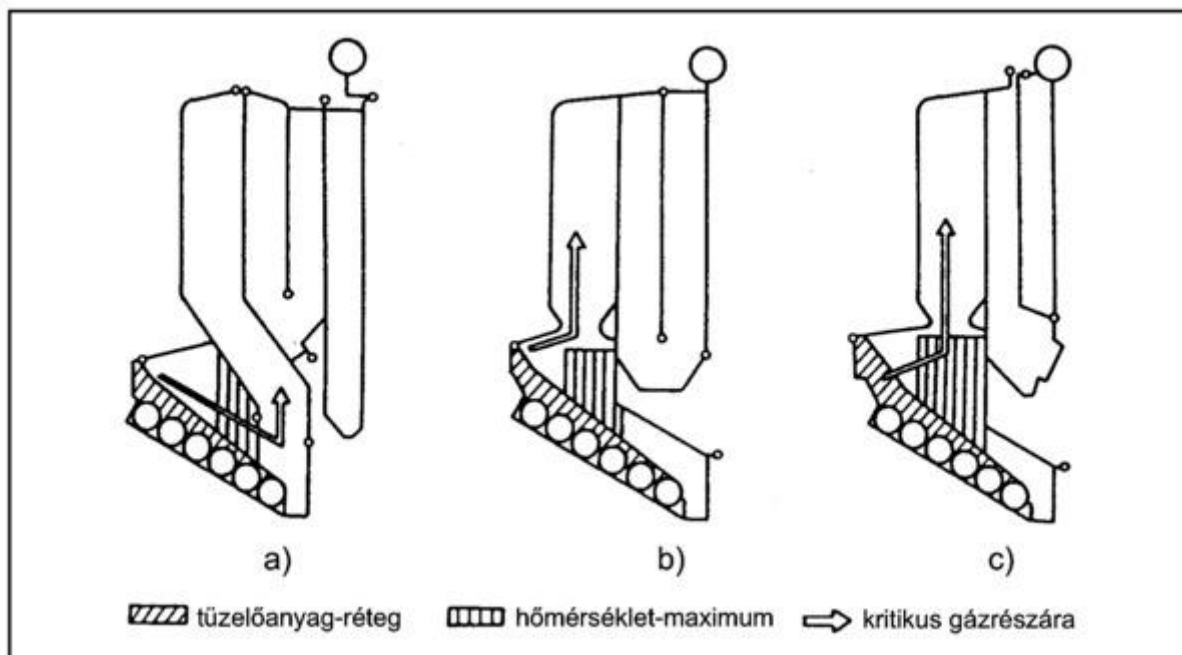
A rostélyoknál lehetővé kell tenni:

- a primer levegőnek hosszirányban legalább öt zónában, egymástól független szabályozhatóságát;
- a rostély szállítási sebességének legalább három zónában (gyulladás tartományban, fő égési zónában és a kiegészítő zónában) egymástól független szabályozhatóságát;
- a hulladékréteg intenzív bolygatását, keve részét;
- a rostélyszőnyegen lévő levegőrések azonos méretét és egyenletes elosztását;
- a hűtőlevegő-igény legfeljebb az égési levegő tüzelőágyba vezetett mennyiségével azonos legyen.

A feltételeknek legjobban a hengerrostély, az ellenáramú és a visszatoló rostély felel meg. A primer levegő (a tüzelőanyagágyba vezetett alsó szél és az oldalfalról bevezetett levegő) az összes levegőszükségletnek kb. 70–80%-a. Ez egyben a rostély hűtését is biztosítja. A kiszáritási és begyújtási zónába vezetett alsó szél célszerűen 120–180 °-ra előmelegítendő. Az égésgázok levegővel keveredése és kiegészítése a tüztérben történik. A tüzterek átlagos termikus terhelhetősége 400–1000 MJ (m<sup>3</sup> × h).

A füstgáz és a levegő áramlási iránya szerint *egyenáramú, ellenáramú és kombinált áramú* tüztérformák különböztethetők meg (6.2.1.5. ábra).

Az egyenáramú tüzelés során a kis fűtőértékű tüzelőanyag kiszáritása és begyújtása nehezebb. Ezt a gondot az égéshez használt levegő előmelegítésével csökkentik.



**6.2.1.5. ábra:** - Tüztérváltozatok  
a) egyenáramú; b) ellenáramú; c) kombinált áramú

Az ellenáramú tüzelés esetében ilyen problémák nem jelentkeznek, viszont hátránya, hogy a gyulladási tartományból részgázáramok kerülhetnek az első huzamba anélkül, hogy kényszerítetten átáramolnának a legforróbb zónán.

A két megoldás közötti áthidaló megoldás a kombinált áramú tüzelés. Ez utóbbiban az egyenáramú – száritási és gyulladási zónából származó – részgázáramot elterelik és a turbulencia zónában a fő égési zónából érkező forró gázárammal és a befűvott szekunder levegővel összekeverik a tökéletes kiegészítés érdekében. A nagyobb fűtőértékű hulladékok esetében a forró zónán való biztos áthaladás miatt az egyenáramú tüztérmegoldásokat



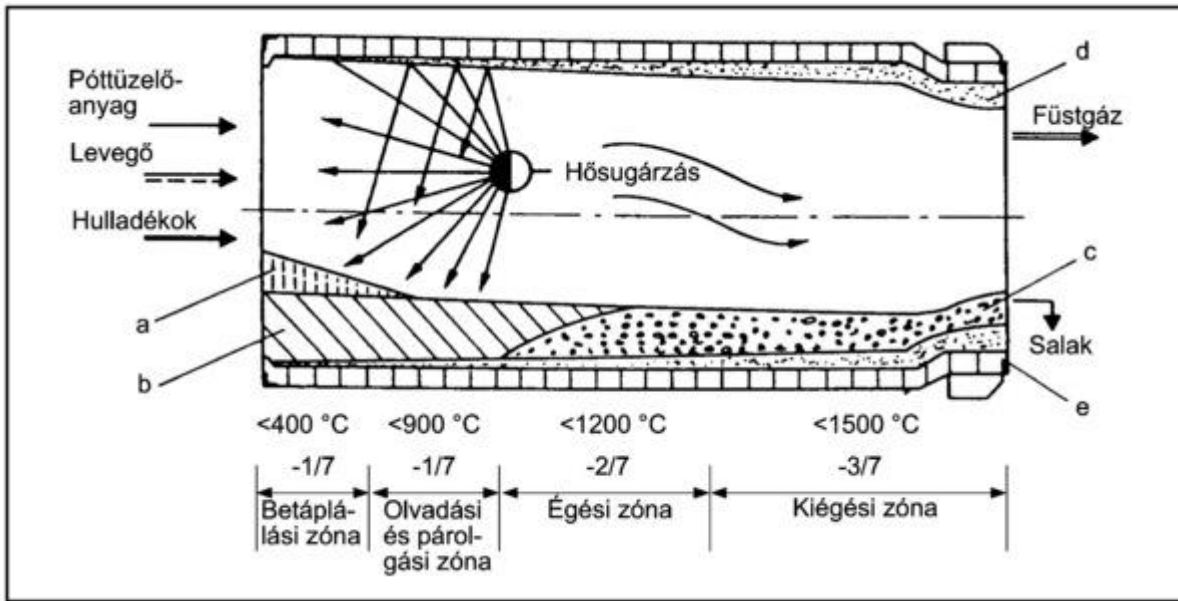
részesítik előnyben. Erősen ingadozó fűtőérték-tartomány esetén előnyösebbek a turbulencia zónájú kombinált áramú tüztérformák. A szekunder levegő részarányát célszerű kis értéken tartani. A nagyobb részarány nem optimális tüzelésre utal. A kisebb részarány főként egyenáramú tüzeléssel valósítható meg és részben a kombinált áramú tüzeléssel (a forró zónán átkényszerített gázáramban az égéstermék bomlási maradékai kevesebb levegő bekeverésével érhető el). A szekunder levegő hőmérsékletét az utóégetőtér szén-monoxid-tartalmától függően kell szabályozni. A befűvást nagy impulzussal kell végezni.

A tüztérfalazat a tüzelőberendezés egyik legkritikusabb része, amelyet úgy kell kialakítani, hogy egyensúly legyen a túlzott mértékű hőelvonást és a tüztérfalazat elsalakosodását okozó tüztérhőmérséklet között. Fontos a megfelelő szilárdság és a koptatóhatással szembeni ellenállás, valamint a hőingadozásokkal és a kémiai hatásokkal szembeni rezisztencia. A kevésbé igénybe vett tüztérfalazathoz samott típusú bélést, az erősebben igénybe vett részekhez pedig SIC és műkorund anyagú falazatot készítenek.

Az égetendő anyag fűtőértékének ingadozása miatt gyakorlatilag nem nélkülözhető a póttüzelés, amihez olaj-vagy gázégőket használnak. A póttüzelés célja és az égők beépítési helye szerint megkülönböztetünk stabilizáló-és teljesítményégőket. Az égőket a hatásosabb kiégetés érdekében célszerűbb közvetlenül a tüztérben és nem az utóégetőtér elején beépíteni. A tüztérhőmérséklet az égéslevegő mennyiségével és hőmérsékletével, valamint a szükség szerinti póttüzeléssel a kívánt határok között tartható. A rostélytüzelésű égetőket is folyamatosan fejlesztik. Ennek célja a hatékonyabb tüzelés, a biztonságosabb üzemelés fokozása és a másodlagos környezetszennyezés csökkentése.

**A rostély nélküli hulladékégetők** főleg folyékony és pasztás hulladék, valamint iszap égetésére használatosak, azonban némelyik megoldás szilárd hulladék kezelésére is megfelelő. A rostély nélküli hulladékégetők főként a tüztér kialakításában különböznek a rostélyos berendezéstől. A rostély nélküli hulladékégetők tüztere általában hengeres, ezáltal majdnem kétszeresére növelik a hőszugárzás intenzitását. Ez kisebb veszteséget okoz. Ezek a berendezések típustól függően salakolvasztásos üzem módban is üzemeltethetők. Lényegesebb típusaik: forgódobos *kemencék*, *égetőkamrák*, *emeletes kemencék*, *fluidizációs kemencék*, *egyéb speciális tüzterek*.

A *forgódobos kemence* tűzálló falazattal kibélelt hengeres tüztér, amely a vízszinteshez képest enyhén lejt és lassan forog. A fordulatszám és a dőlésszög változtatásával szabályozható a hulladék tartózkodási ideje. Az anyagi jellemzőktől függően a hulladék kiégetési időtartama a kemencében 15–70 min. A kemencébe táplált anyag folyamatosan keveredik, a keveredés során fellazult anyagból a bomlási és égési gázok gyorsan távoznak és ezáltal a viszonylag kis dobhőmérsékleten is gyors és egyenletes égés érhető el. A hulladék mozgása a dobban kétirányú. Egyrészt a henger palástjával együtt mozog, majd visszacsúszik, miközben tengelyirányban is elmozdul. Az égéságy és a falazat közötti súrlódás következtében az ágy keresztmetszetében elnyúlik és konkáv formát vesz fel, ami által megnő az égéságy aktív felülete is. Ez a kétirányú mozgás az anyagforgalom és a tökéletes elégés szempontjából is nagy jelentőségű. A hulladék és a füstgázok áramlási iránya egyenáramú üzem módot eredményez, ami a szárítási-gyulladás zónából származó bomlási termékek forró zónán való átvezetését teszi lehetővé, és így lényegesen javul a kiégés határfoka. Az 6.2.1.6. *ábra* a forgódobos kemence termodinamikai viszonyait ábrázolja.



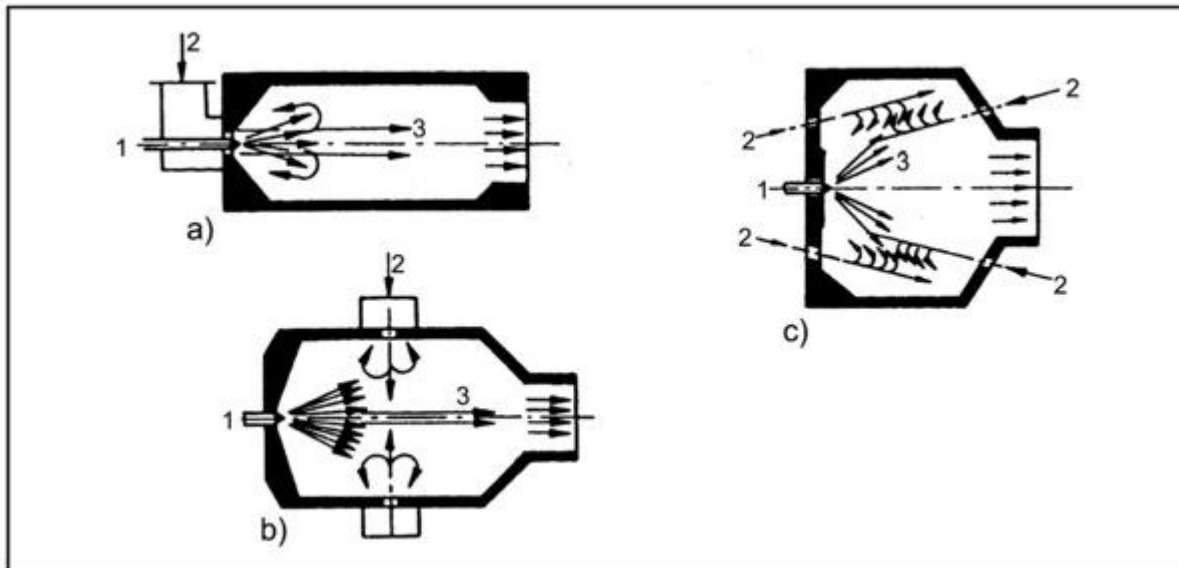
**6.2.1.6. ábra:** A forgódobos kemence hőmérsékleti szakaszai  
**a) vízgőz; b) éghető anyag; c) salak; d) salakolvadék; e) falazat**

Az égési zónában felszabaduló hő a dob tűzálló falazatát felhevíti és a dob elfordulása révén az elégetendő hulladék alá fordul. Ez fokozza a beadagolt anyag előmelegítését és kigázosodását, valamint hatásos kiégetését. Így a hőátadás konvektív és sugárzásos úton egyaránt végbemegy és bizonyos esetekben az anyag hevülési sebessége elérheti a 90–100 °C/s értéket is. A dob végén a kiégés folytán keletkezett füstgázok nagy mennyisége és a hőmérséklet növekedése miatt az áramlási ellenállás olyan belső turbulenciát eredményez, amely az égetési folyamatot jelentősen segíti. Ezáltal a gázáramban jelenlévő még éghető gázok és gőzök által elragadott pernye teljes kiégetése is elérhető. A jó turbulencia ellenére sem biztosítható azonban mindenkor az égésgázok tökéletes kiégetése magában a tűztérben, ezért a forgódobhoz 900–1000 °C hőmérsékleten üzemelő utóégetőtér csatlakoztatása általában nem nélkülözhető. Itt az égésgázokat biztonságosan olaj-vagy gázégekkel égetik el. Az utóégetőtérben folyékony hulladék elégetésére nyílik lehetőség. Az utóégetőtér többnyire négyzet keresztmetszetű. Újabban az optimális áramlási viszonyok érdekében kör keresztmetszetű utóégetőterek kialakítását szorgalmazzák.

A forgódobos kemence fejrésznél adagolják be a hulladékot, a póttüzelőanyagot és az égéslevegőt. A dob mintegy 20 térfogat %-ig folyamatosan tölthető fel hulladékkal. A salakot nedves rendszerű salakkihordóval távolítják el. A forgódobos kemencében a légfelesleg-tényező szerkezeti okok miatt igen nagy (átlagosan 2–2,5). Ez jelentősen növeli a ventilációs energiaigényt. A kemence szokásos tűztérhőmérséklete 900 °C. Salakolvasztásos üzemben a falazat védelmére vékony védő salakréteg előzetes felvitele szükséges. A védő salakréteg vastagsága a tűztér terhelésétől, a salak olvadáspontjától és a tűztér hőmérsékletétől függ. Általában 150–200 mm-es, (max. 400 mm) rétegvastagságot alakítanak ki. Az egyenletes salakréteg fenntartásához a hulladékot homogenizálni kell és adalékanyag (pl. homok, szűrőföld) alkalmazására van szükség.

Szerkezeti megfontolásokból a dob legnagyobb átmérője 3,5–4 m, hossza pedig 8–12,5 m. A szokásos legnagyobb hőteljesítménye 60–65 GJ/h, ami a hulladék fűtőértékétől függően 2–6 t/h teljesítménynek felel meg. Ennél nagyobb átocsátási teljesítmény is elérhető ugyan a fűtőértéktől függően – max. 8–10 t/h –, azonban ebben és az e fölötti teljesítménytartományban a kedvezőtlen hő-és anyagátadási folyamatok miatt az égési folyamat már nem megy végbe tökéletesen. Az utóégetéssel együtti hőteljesítmény ennél lényegesen nagyobb lehet, elérheti a 110–120 GJ/h nagyságot is

Az *égetőkamrák* horizontális vagy vertikális elrendezésű, kifalazott hengeres égésterű, fix kemencék, amelyekben megfelelő áramlási viszonyok kialakításával és különböző porlasztókkal, adagoló égetőfejekkel égethető el folyékony hulladék, valamint iszap. Egyszerű felépítésük és rugalmas alkalmazási lehetőségeik miatt igen elterjedtek. Áramlási viszonyaik szerint vannak *párhuzamos áramú*, *keresztirányú*, *ellenáramú* és *ciklon rendszerű* kemencék (6.2.1.7. és 8. ábrák).



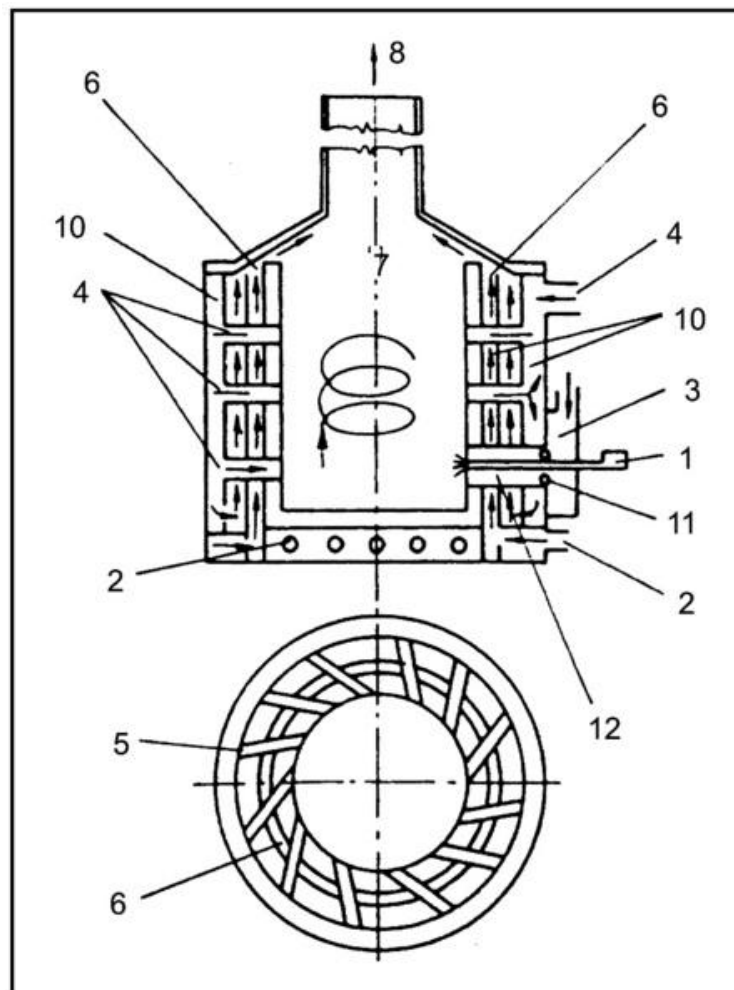
**6.2.1.7. ábra:** Égetőkamrák alaptípusai  
 a) párhuzamos áramú; b) keresztáramú; c) ellenáramú  
 1. tüzelőanyag – feladás; 2. égéslevegő; 3. tüztér

A párhuzamos áramú megoldásban a hulladék és a levegő lassabban keveredik. Ezt a típust többnyire a könnyen porlasztható, jól égethető folyékony hulladékok égetésére használják. Ilyen rendszerű kemencének legnagyobb a mérete.

A keresztáramú tüztérkiképzés a jobb megoldás. A szekunder levegőt több radiális furaton át, nagy kinetikai energiával a kamra tengelyére merőlegesen fújják az égéstérbe. A keresztáramlás révén egyrészt az égési levegő a forró füstgázzal keveredve előmelegszik, másrészt a félig elégett, ill. részben kiégett füstgázokat elegendő oxigénhez juttatva a teljes kiégés meggyorsul. Az ilyen rendszerű kemence rövidebb és így építési költsége is kisebb. A keresztáramú rendszert nehezen égethető hulladék (pl. emulziók, anyalúg, szennyvíz) ártalmatlanítására használják. Főként ez a típus alkalmas iszapállapotú (és pasztás), esetleg előaprított szilárd maradék égetésére is. Ez esetben utóégető-teret is kell csatlakoztatni hozzá úgy, mint a forgódobos kemencéhez. Keresztáramú kemence kétkamrás változatban is készül úgy, hogy a beadagolás közelében alakítanak ki egy ún. lángteret, ahol primer levegővel előégetést végeznek. Az előégetést végezhetik légfelesleggel és léghiánnyal is. Ez utóbbi akkor célszerű megoldás, ha a hulladék szerves nitrogénkötései miatt a nitrogén-oxidok csökkentését kívánják elérni. A lángtér utáni reakcióterbe vezetik be a keresztáramú szekunder levegőt és itt égetik ki tökéletesen az égésgázokat.

Az ellenáramú kiképzést az intenzív keveredés és a zömök építési mód követelményeit figyelembe véve alakították ki. Az égéslevegőt több szabad sugárban, egymással szemben fújják be, ezáltal az érintkezési sávokban igen intenzív és állandó jellegű keveredési zónák jönnek létre. Ezt a típust szinte kizárólag folyékony hulladék égetésére használják, sok esetben salakolvasztásos megoldással.

Az égetőkamrák speciális változata a ciklon rendszerű tüztér, amely leggyakrabban vertikális elrendezésű. A hengeres tüztérbe tangenciálisan vezetik be több furaton át a nagy sebességű szekunder levegőt és így a tüztérben lévő gázoszlop körmozgását idézik elő. A betáplált folyékony vagy aprított szilárd hulladék az égésteret többször körbejárva, spirális lánggal ég. A hosszú, turbulens lángban lényegében tökéletes égés megy végbe. Nagy hőteljesítményekre képes kemencetípus, amelyet gyakran salakolvasztásos rendszerben üzemeltetnek. Salakkihordó szerkezettel ellátva nehezen égethető szilárd hulladék (pl. autógumik, műanyagok) égetésére is használják.

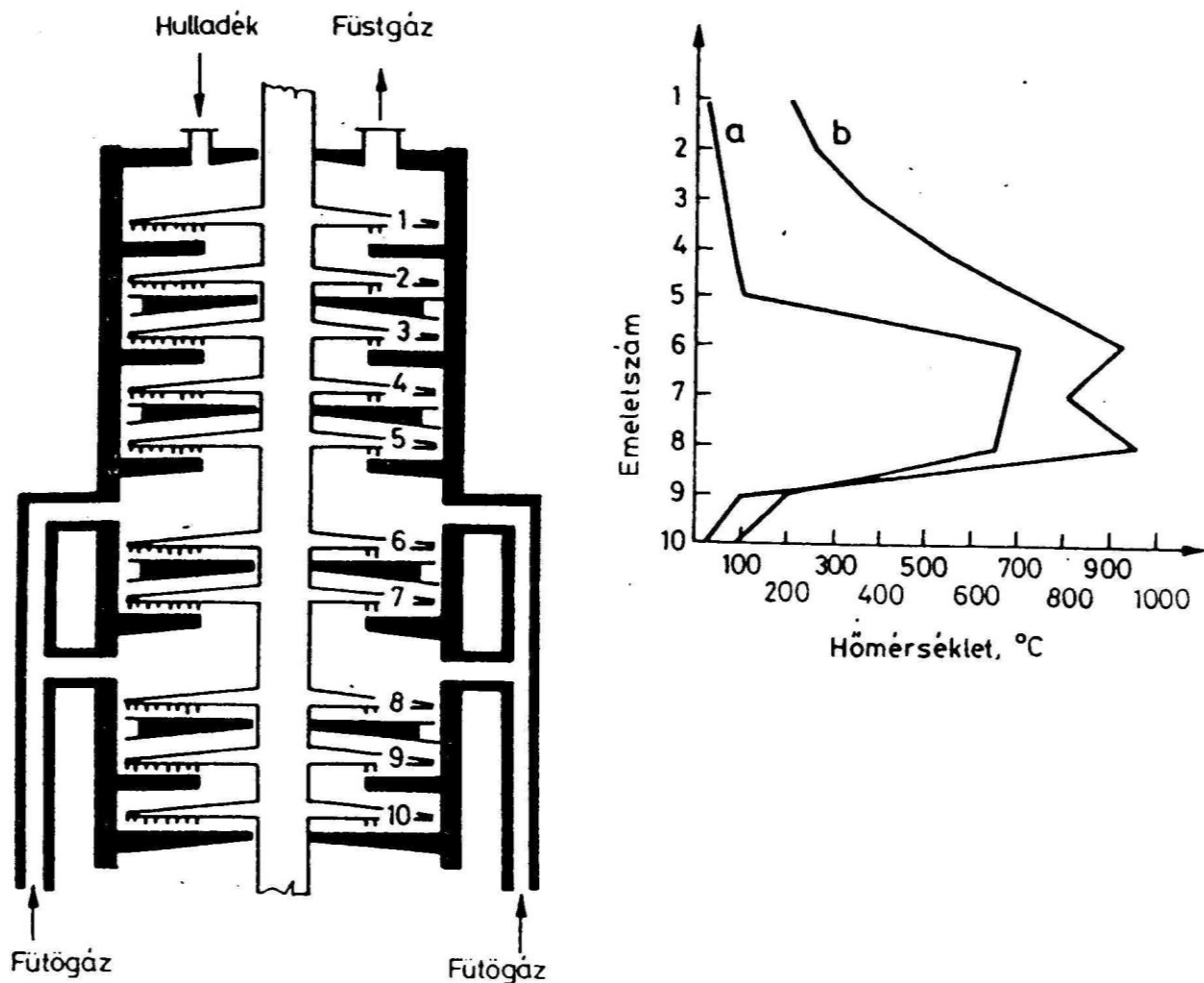


**6.2.1.8. ábra:** Ciklon rendszerű égetőkamra vázlatja 1 égetőfej; 2. hűtőlevegő; 3. égéslevegő (primer); égéslevegő (szekunder); 5. levegőbevezető huzatok; 6. tűzálló falazat; 7. tüztér; 8. füstgáz a mosóba; 10. válaszfalak; 11. gázégő; 12. gázáram

Az égetőkamrákban a tapasztalatok szerint a 12 MJ/kg-nál nagyobb fűtőértékű folyékony hulladék 1300 °C-nál nagyobb tüztérhőmérsékleten a másodperc törtrésze alatt teljesen elég. A kisebb fűtőértékű folyékony hulladékot póttüzeléssel együtt kell égetni és a teljes kiégéshez 800–1100 °C hőmérsékletnél 1–2 s tartózkodási idő szükséges, ha a légfelesleg átlagosan 10–20%. A hulladékok kémiai összetétele döntően befolyásolja az égéstér kialakítását és az égetés paramétereit. Ezeket általában égetési kísérletekkel határozzák meg. A póttüzelés mértéke függ a reakció hőmérséklettől, a szükséges légfeleslegtől és a hőveszteségtől. Az égetőkamrákat legtöbbször azért építik vertikális elrendezésűre, mert így helyet takarítanak meg vagy azért, mert a szilárd maradékokat

egyszerűbben lehet eltávolítani (ezek ilyenkor kihullnak az égéstérből. Az égetőkamrák legnagyobb hőteljesítménye szerkezeti okokból általában nem lehet több mint 40–45 GJ/h. A szilárd hulladék égetésére általában csak speciális felszerelésekkel ellátva (adagoló, utóégető stb.) alkalmasak.

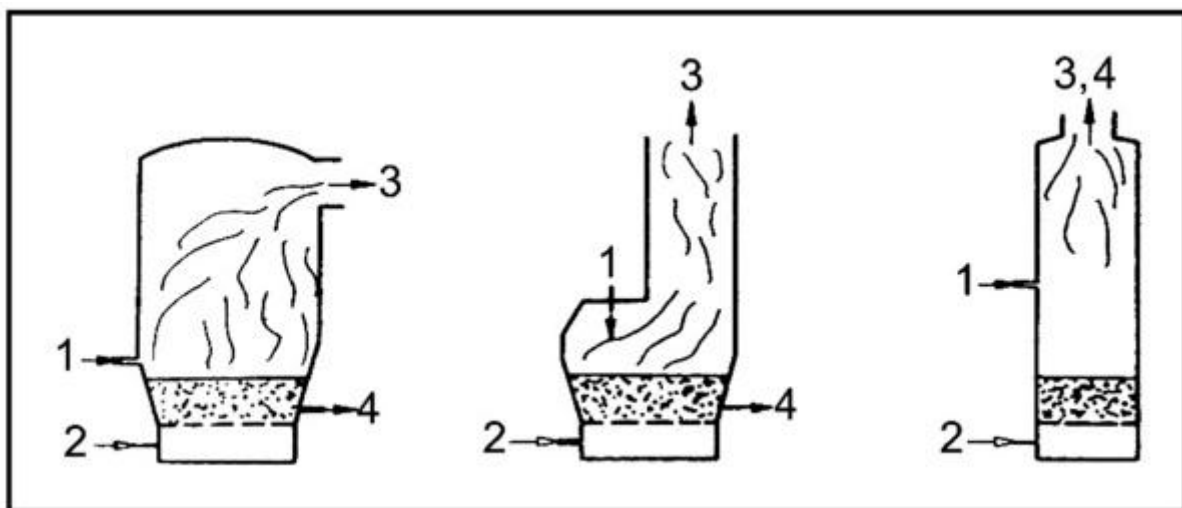
Az *emeletes kemence* (6.2.1.9. ábra) henger alakú, több tűzteres kifalazott kemence, amely elsősorban iszap, főként szennyvíziszap égetésére alkalmas. Szilárd és folyékony hulladék égetésére feltételesen (aprítás, előkezelés után) használható. Az emeletes kemence három különböző működési szakaszra tagolódik: a felső szakasz (1–5. emelet) a nedves iszap szárítására, a középső (6–8 emelet) az elégetésre és az alsó (9–10. emelet) a salak lehűtésére. Az egyes emeletek magassága 60–80 cm. A kemencébe felül beadagolt, előkezelt hulladék az egyes szintek padozatán váltakozó irányban ki-és befelé mozog és a kerületén, ill. a központjában kialakított nyílásokon át felülről lefelé mindig az alatta lévő szintre esik. Az iszap mozgását a kemence középvonalában elhelyezett hűtött tengelyre erősített fogazott kaparókarok végzik. Az égéshez szükséges szekunder levegőt a forgatómechanizmus hűtését követően az alsó szinten vezetik be, ahol salakkal érintkezve tovább melegszik és felfelé áramlik. A kemence légfelesleg tényezője: 1,4–1,6.



6.2.1.9. ábra: emeletes kemence kialakítása és hő viszonyai ( a: termékhőmérséklet, b: gázhőmérséklet)

A füstgázok kiszárítják az ellenáramban mozgó anyagot, majd kb. 250–540 °C-on távoznak a kemencéből. A szárítószakaszban az átlagos hőmérséklet 350–550 °C, az égetőszakaszban pedig 780–980 °C. Nagyobb hőmérsékleten a salak megolvad. Az alsó szakaszban részben lehűtött salakot folyamatosan távolítják el és a nedves rendszerben hűtik. A vázolt ellenáramú megoldásban a füstgázok hőtartalmának egy részét közvetlenül hasznosítják a víz elgőzöltetéséhez és ezzel póttüzelőanyagot takarítanak meg. Hátránya a bonyolult üzemeltetés és a gyakori meghibásodási lehetőség, valamint a viszonylag nagy beruházási költség.

A *fluidizációs (örvényágyas vagy fluidágyas)* kemencében a nagyfokú, intenzív hő és anyagátadás miatt igen nagy fajlagos égetési teljesítmény érhető el. Folyékony, pasztás és aprított szilárd hulladék, valamint iszap kezelésére egyaránt alkalmas. A fluidizációs kemence égéstere henger alakú, amelynek alján megfelelően kiképzett tartórostélyon finom szemcsés, ömlesztett anyagból álló réteg helyezkedik el. Ezt az anyagot a rostélyon átfújó levegőáram tartja lebegő, örvénylő mozgásban (örvényáram). A kemence szerkezete egyszerű, nincsenek benne mozgó alkatrészek. Technológiai szempontból a fluidizációs kemencében nagyrészt egyenáramú folyamat megy végbe. Az égetendő anyag az örvényrétegbe esik vagy részben az örvényréteg felett porlasztják be. Elgőzöltetéssel, bomlási és gázosodási reakciókkal a komponensek illóvá válnak, jól elkeverednek az égetéshez szükséges levegővel, az örvényréteg felett elhelyezkedő gázzrétegig jutnak és ott gyorsan reagálnak. Az ehhez szükséges tartózkodási idő rövid, általában az égetőkamrákban szükséges időtartamnak felel meg. A szilárd anyagrészeket, amelyek gyakran hosszabb kiegészi időt igényelnek, tovább tartják az örvényágyban. Az égési zóna felett helyezkedik el a fő égéstér, amelynek térfogata az égésgázok tökéletes kiégetési követelményeinek megfelel. Az égés javítására esetenként a fő égéstérbe szekunder levegőt is fűjnek be. A kemence szokásos tüztérhőmérséklete 750–850 °C. Ezek a technológiai jellemzők magyarázzák, hogy az utóbbi időben miért terjedt el ez a kemencetípus. A hulladék víztartalma 65–70% is lehet. E kemencetípusnak az is előnye, hogy jellemzői miatt viszonylag gyorsan üzembe helyezhető és ezért szakaszosan is üzemeltethető. A fluidizációs kemence a hulladéktól és a kiegészítő berendezésektől függően többféleképpen kialakítható (6.2.1.10. ábra).



**6.2.1.10. ábra:** Fluidizációs kemence építési módjai  
1. hulladék; 2. levegő; 3. füstgáz, 4. hamukihordás

Az égés során visszamaradó hamu a kemence fejrészen távolítható el vagy az örvényágyból az ágy anyagával együtt vehető ki. Felső eltávolítás esetén a hamu az utáncapcsolt füstgáztisztító berendezésekbe kerül. Az ágyal együtt való kihordás során

közvetett vagy közvetlen hűtésről kell gondoskodni. A fluidizációs kemence szokásos légfelesleg tényezője: 1,1–1,3. A légfelesleg csökkenthető kis szemcseátmérőjű égésanyag alkalmazásával, ill. a kemence átmérőjének szűkítésével, a rostély síkjában. Az örvényágy szokásos vastagsága 0,5–3 m. A füstgázok hőenergiáját általában az égéslevegő kívánt mértékű előmelegítésére hasznosítják. Speciális esetekben a hő kazánban is hasznosítható. Erre legjobban beváltak az örvényágyban elhelyezett hűtőcsövek, amelyek kb. 10%-kal jobb hatásfokúak, mint az utánkapcsolt kazán. Az utánkapcsolt kazán hatásfokát és élettartamát nagyon csökkenti a füstgázok nagy por és pernyetartalma. Az örvényágy anyag finom szemcsés kvarc, korund vagy bazalt. Számos ipari hulladékfajta égetésekor a hamu és az ágy anyaga közömbösen viselkedik, ha azonban a hamu megolvad, akkor az ágy anyagának ragadásával, zsugorodásával kell számolni (üzemzavar). Különösen olyan hulladék esetében fordul ez elő, amely alkalisókat (pl. nátrium-kloridot, nátrium-szulfátot) tartalmaz.

Egyre növekvő érdeklődés jellemzi a biomassza és a szilárd települési hulladékok már meglévő széntüzelésű erőművekben történő elégetésének lehetőségét. Az előnyök az alábbiakban foglalhatók össze:

- a hulladék folyamatos feladása nem jelent gondot, hiszen a kazánberendezés számára mindig rendelkezésre áll az elsődleges tüzelőanyag a szén, akár 100%-os felhasználásra.
- a lerakandó hulladék mennyisége csökken
- nagy nedvességtartalmú hulladék is égethető
- a szén kis mennyiségben történő biomasszával, hulladékkal való helyettesítésével is csökken a fosszilis tüzelőanyag tartalék felhasználása
- csökkenti az emissziót, főként a SO<sub>2</sub> kibocsátást
- relatíve kicsi beruházás szükséges a biomassza égetőművekhez képest

A fluidágyas égető (6.2.1.11. ábra) egy nagyon sokrétű technológia, amely lényegében hulladékok bármilyen kombinációját képes elégetni alacsony emissziós értékek mellett. A legnagyobb előnye a fluidágyas égetőknek a hagyományos égetőkkel szemben a kompakt kemence, egyszerű kialakítás, a tüzelőanyag fajtától szinte függetlenül jó hatásfok, a relatíve állandó hőmérséklet és a képesség, a kibocsátott nitrogén-oxid és kén – dioxid mennyiségének csökkentésére. A meglévő fluidágyas égetőművek átalakítása hulladék együttégetésre alkalmas kemencévé sokkal kisebb költséggel jár, mint egy új, hulladékégetési céllal létrehozott égetőmű beruházási költsége.



**6.2.1.11. ábra: Fluidágyas égető, az üzem központja**

**Speciális tüztérmegoldásúak** a különböző egyéni építésformákkal kiképzett salakolvasztásos égetőkamrák, a szállítóhevederes kemence és a kupolókemencéhez hasonló felépítésű salakolvasztásos égetők. Ezek többségének fejlesztése folyamatban van, nagyüzemi alkalmazásuk néhány kivételtől eltekintve nem széles körű. Az utóbbi évtizedekben számos új termikus hulladékkezelési eljárást fejlesztettek ki, amelyek lényegében az égetésnek mint oxidációs folyamatnak valamilyen speciális változatai. Ezek a sóolvadékos kemencék, a nagyhőmérsékletű fluidágyas kemencék, az infravörös és mikrohullámú kemencék.

### **Füstgáztisztítás**

A következőkben a hulladékégetés során keletkező füstgáz szennyezői kerülnek bemutatásra, valamint néhány kezelési módszer a gáz tisztítására.

A 2000/76/EK irányelvben foglaltakat a 3/2002 (ii.22) KöM rendelet tükrözi, mely többek között a hulladékégetés technológiai kibocsátási határértékeiről rendelkezik. A meghatározott emissziós határértékek nem csupán a hulladékégetőkre vonatkoznak, hanem a hulladék - szén együtt-égetőművekre is.

A környezetvédelmi hatóság engedélyében előírja a légszennyező anyagok kibocsátásának mérési követelményeit. Folyamatosan mérni és rögzíteni kell a következő légszennyező anyagok kibocsátását: nitrogén-oxidok, szén-monoxid, összes szilárd anyag, TOC, hidrogén-klorid, hidrogén-fluorid, kén-dioxid. A nehézfémek, dioxinok és furánok, mint lehetséges szennyezők kibocsátásának meghatározása érdekében az üzembe helyezést követő első 12 hónapban legalább háromhavonta kell egy-egy mérést végezni, ez követően évente legalább két mérést kell végezni.

A kommunális hulladékégetők füstgázainak átlagos szennyezőanyag koncentrációja, és az adott komponensre érvényes kibocsátási határértékeket (napi átlagértékbe) az alábbi 6.2.1.2. táblázat foglalja össze.



**6.2.1.2. táblázat: Füstgáz szennyezőanyag tartalom és határértékek**

Komponensek	Füstgáz szennyezőanyag koncentrációi	Légszennyező anyag kibocsátási határértékei
Összes szilárd anyag	2-15g/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>
Kén-dioxid	1000-3000 mg/m <sup>3</sup>	50 mg/m <sup>3</sup>
Hidrogén –klorid	2000-8000 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>
Hidrogén fluorid	20-100 mg/m <sup>3</sup>	1 mg/m <sup>3</sup>
NOx	500-1500 mg/m <sup>3</sup>	200 mg/m <sup>3</sup>
Szén-monoxid	500-1000 mg/m <sup>3</sup>	50 mg/m <sup>3</sup>

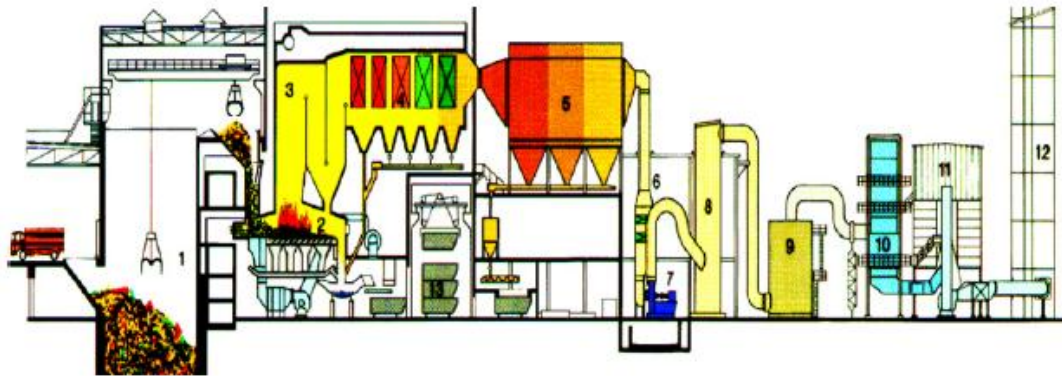
A dioxinokra 0,1ng/m<sup>3</sup>, valamint a nehézfémek közül a kadmiumra és higanyra 0,05 mg/m<sup>3</sup> kibocsátási határérték érvényes.

A füstgázban lévő legtöbb szennyező különböző módszerekkel kezelhető. Például az NOx emissziót már a kemence belsejében szelektív nem – katalitikus redukcióval és szelektív katalitikus redukcióval lehet kezelni. A HCl és HF mosótoronyban vagy kemiszorpció útján kezelhető. Az SO<sub>2</sub> a fluidágyas égetőkamrába történő mészkő injektálással megköthető, továbbá szintén kezelhető nedves, félszáraz és száraz mosótoronyban. A dioxinok és furánok egyaránt lebomlanak, amennyiben az égetést előírás szerűen végezzük, amennyiben viszont szintézis útján keletkeztek a füstgáz elvezetése során, leválasztásukat meg kell oldani. A dioxinok leválasztására számos módszer ismeretes, mivel azonban vízoldhatóságuk kicsi, alapvetően a száraz – adszorpciós elvű leválasztást alkalmazzák. A nehézfémeket vagy mosással vagy adszorpciós módszerekkel lehet megkötni.

A hulladékégetést követő füstgáztisztítás- a füstgáz változó összetételének megfelelően- igen sokféle lehet. A füstgáztisztítás során tehát összegezve:

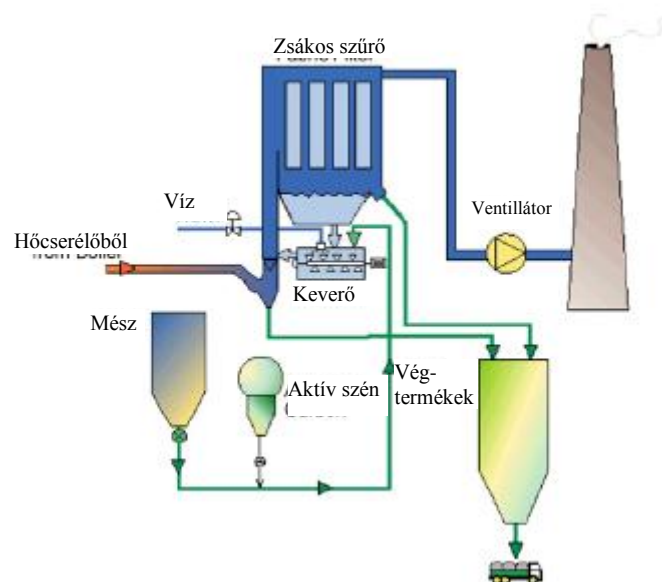
- a szilárd komponensek hatásos leválasztását
- a folyadékban jól elnyelődő gázkomponensek leválasztását
- a szilárd anyagon megkötődő gáz/gőz komponensek leválasztását
- katalitikus/nem katalitikus redukciókkal történő bontást kell megvalósítani.

Az alábbi 6.2.1.12. ábrán egy csúcstechnológiás égetőmű látható. Ez az üzem egy hulladéktárolóból és adagolószerkezetből, majd azt követő égetőből, hőcserélőből és komplex füstgáz tisztító rendszerből áll. A füstgázban lévő különböző káros anyagok mindegyikét külön eljárással és külön berendezésben kezelik: mosótorony a HCl-hez és SO<sub>2</sub> –hoz, katalízis ágyak az NOx eltávolításra, és speciális reaktorok a dioxin bontásra. Az elmúlt évtizedek kutatási eredményei, fejlesztései eredményeképpen kialakult egy olyan égetőmű struktúra, amely jól és megbízhatóan működik, azonban nagyon komplex és drága. A települési hulladék változó összetétele miatt az égetőműnek viszonylag nagy oxigén mennyiséggel kell dolgoznia, ami csökkenti a hatékonyságot.



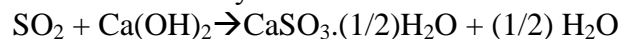
**6.2.1.12. ábra: korszerű technológiájú égetőmű (1. adagoló, 2. rostélytüzelésű kemence, 3. utóégető kamra, 4. hulladék-hő bojler, 5. elektrosztatikus porleválasztó, 6. tápvíz előmelegítő, 7. ventilátor, 8. mosótorny, 9. nedves elektrosztatikus porleválasztó, 10. NOx eltávolító, 11. dioxin mentesítő, 12. fáklya**

A különböző tisztítási lépések integrálásával jelentősen csökkenthetők a füstgáztisztítás költségei. Erre jó példa az Alstom féle NID eljárás (Novel Integrated Desulfurisation). Az eljárás vázlatát az alábbi 6.2.1.13. ábrán látható.

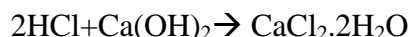


**6.2.1.13. ábra: A NID eljárás folyamata**

A NID eljárás egy száraz, füstgáz kéntelenítési módszer amely a  $\text{SO}_2$  és a  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  közötti reakción alapul nedves körülmények között.



Eközben a sósav reagál kalcium – kloriddá:

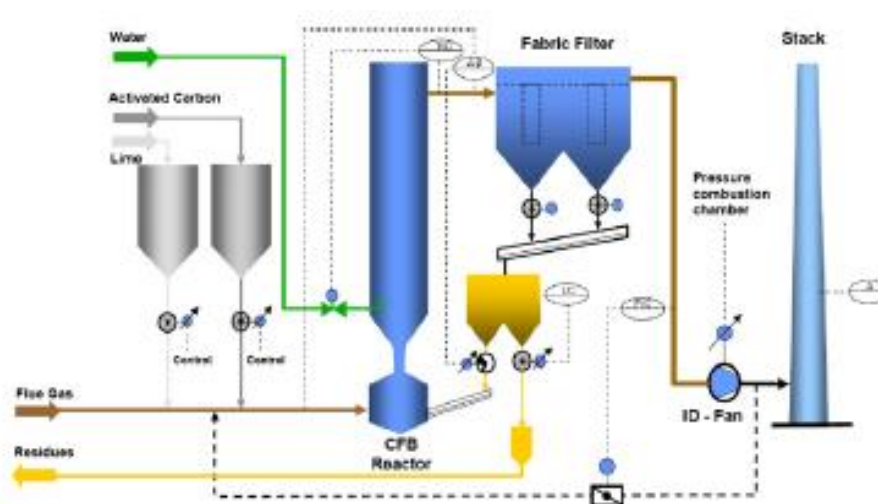


Az  $\text{SO}_2$  reakció esetén a legmeghatározóbb körülmény a nedvesség, akár a mészhordozójaként vízcseppek formájában, akár adszorbeált nedvességként van jelen a recirkuláltatott reagensen. Mivel a nedvesség szükséges, a részecskéket jól folyós állapotban lehet tartani. A friss meszet és a recirkuláltatott szemcséket alaposan össze keverik vízzel egy mixer segítségével. Ezután a keveréket beinjektálják a feladó csatorna alsó részébe, ahol találkozik a füstgázzal, így a megfelelő tartózkodási idő is megvalósítható. A zsákos porleválasztóba került szilárdanyagot vagy visszaforgatják a mixerbe, vagy lerakják.

Ily módon lehetséges a savas gázokat megkötni (SO<sub>2</sub>, HCl, HF, HBr). Habár a NID eljárás alapvetően száraz, mégis könnyen megoldható más adszorbensek hozzáadása, így egyéb szennyező anyagok megkötnése. Erre a célra az aktív szént használják, amely mind a nehézfémeket, mind a dioxinokat, furánokat képes megkötni.

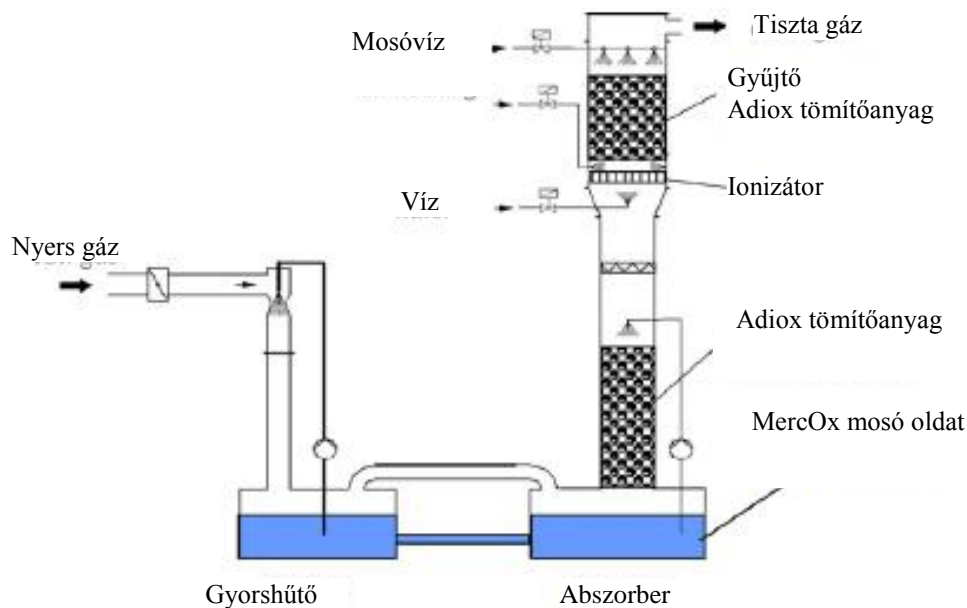
Amennyiben égető berendezésként circulating fluidized bed égetőt választunk, akkor az arra jellemző hőmérséklet homogenitást és általában alacsonyabb égetési hőmérsékletet számításba vehetjük. Ilyen körülmények között nemcsak a CO, de a NO<sub>x</sub>-re vonatkozó határértékeket is lehet tartani. A hagyományos módszer az, hogy különböző berendezések sorozata szükséges, amelyek mindegyikének egy bizonyos szennyező leválasztása feladata. Ezzel az eljárással a különböző berendezések helyett elég egy egylépcsés eljárást beiktatni, így radikálisan csökkenthető a beruházási költségek. Hozzáteszik azonban, hogy a bekevert szorbensek később problémákat okozhatnak a pernye lerakás során, azonban a NID eljárást sikeresen alkalmazzák széntüzelésű erőművekben, biomassza erőműben, valamint hulladékégetőkben is.

Valamelyest hasonló a Circoclean eljárás, amelyet Lurgi Lentjes fejlesztett ki. Ahogy az alábbi 6.2.1.14. ábrán is látható, a fő eltérést a reaktor alakja jelenti. A füstgáz a venturi alakú abszorber alján lép be, ami egy circulating fluidized bedként működik. Az optimális reakcióhőmérséklet 20-30 °C-al a nedves hőfok alatt van, ami a direkt módon a fluidágy aljába fecskendezett víznek köszönhető.



6.2.1.14. ábra: A Lentjes Circoclean eljárás

Egy nagyon kifinomult eljárást fejlesztettek ki a karlsruhei kutatóközpontban a higany, dioxinok, finomszemcsék és aeroszolok kombinált eltávolítására. Az alábbi 6.2.1.15. ábrán látható ez a többcélú berendezés. A gyorsítón való áthaladás után a füstgáz elsőként a mosótoronyba jut, ahol találkozik a hidrogén-peroxiddal telített mosó oldattal, ami oxidálja az elemi higanyt a MercOx eljárás szerint. A mosótorony tartalmaz egy Adiox tömitést, amely által a dioxinok abszorbeálódnak a műanyagba és adszorbeálódnak a szén részecskékre, amelyek a műanyagban vannak beágyazva. A mosótoronyt követően a füstgáz egy ionizáló zónán halad át, ahol a finomszemcsés anyagok és aeroszolok elektromosan feltöltődnek (CAROLA eljárás) és ezt követően kicsapódnak egy másik Adiox bélése. Egy félüzemi méretű berendezéssel végzett kísérletek alapján kiváló eredményeket értek el ezzel a technológiával a THERESA hulladékégetőben végzett tesztelés során. A MercOx és az Adiox kombinációjával létrehozott technológia került beépítésre egy svédországi hulladékégető-műbe, és azóta is sikeresen üzemel.



**6.2.1.15. ábra: A karlsruhei kutatóközpont által kifejlesztett kombinált mosótornyos eljárás**

### Salak és pernye kezelés

Az égető után az elégetlen maradékok általában vízagyba esnek és megszilárdulnak. Az így kapott salakok összetétele nagyon inhomogén, található bennük ásványi anyag (kő, üveg, kerámia), fém (vas, alumínium, réz), stb. A salak szemcseeloszlása elsősorban a hulladék darabosságától, valamint a tüzelőberendezés szabályozásától függ.

A füstgázból leválasztott pernye az összes égetési maradék 5-10%-át képezi, azonban lényegesen szélsőségesebb tulajdonságokkal rendelkezik, mint a salak. A pernye gáz/gőz, nedvesség megkötő képessége miatt ként, fluoridokat, kloridokat és nehézfémeket is tartalmazhat, ezért lerakására nagy gondot kell fordítani. A szilárd égetési maradékokat a környezetet nem károsító módon kizárólag rendezett, biztonságos lerakóban szabad elhelyezni. Egyre több kutatás- fejlesztés irányul az ilyen maradékok újrahasznosítására is, pl. a települési hulladék salakját útépitésben is hasznosíthatják. Ilyen esetben a salakot megfelelően elő kell készíteni. Az előkészítés aprításból, mágneses vaskiválasztásból és osztályozásból áll, mely során a salakot különböző méretű frakciókra választják szét.

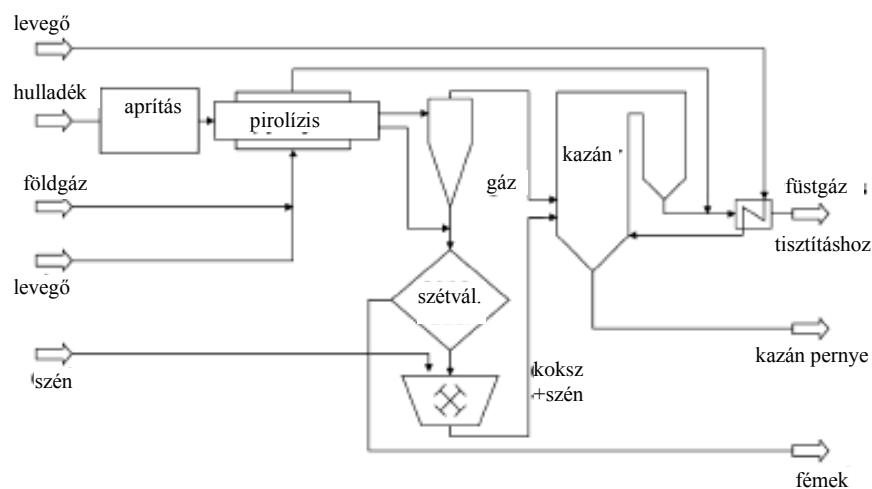
A pernye kezelésére alkalmas eljárások közül a másodlagos termikus eljárás, a redukív közegű katalitikus lebontás, a kémiai eljárásokkal történő pernyekezelés és a különböző beágyazás eljárások terjedtek el.

### Új trendek a hulladékégetésben

Az elektromos áram iparág liberalizációja közelebb hozta Európában a közműveket a hulladékégetéssel. Míg a közművek alapvető célja a villamos energia lehető legalacsonyabb áron történő előállítása, addig a hulladékégetésnél az első helyen a hulladék inert állapotba alakítása áll. Az utóbbi évtizedekben ez a két program összefüzdött, amikor a közművek felfedezték, hogy a legolcsóbb tüzelőanyag a gőzgenerátorok számára nem más, mint a hulladék. Ennek következményeként hulladéktömegek lettek eltérítve a hulladékégető-művekből, így annak érdekében, hogy versenyképességüket fenntarthassák, az

üzemeltetőknek meg kellett oldani az alkalmazott eljárások hatékonyságának növelését, valamint a saját maguk által előállított villamos energia mennyiségét, ezáltal csökkentve az üzemeltetési költségeket. Mindkét fél céljai (egyrészt a hulladék együttégetés a széntüzelésű erőművekben, másrészt a hulladékégetők hatékonyságának növelése) csak akkor valósíthatók meg, ha a hulladék szelektíven gyűjtött, azonos minőségű, vagy ha eltérő minőségű, - mint amilyen a települési hulladék is-, valamilyen módszerrel előkezelt annak érdekében, hogy az égetési menü állandó fűtőértékű legyen.

A hulladékélelőkészítés fizikai és kémiai eljárásokkal is megvalósítható. Egy alkalmas kémiai eljárás a pirolízis, amely az alapjául szolgál a Technip féle ConTherm eljárásnak. Ez az eljárás volt az első, amelyet ipari méretekben is alkalmaztak, elsőként az RWE Power-nél. Az eljárás folyamata és az erőműben történő integrálásának módja látható az alábbi 6.2.1.16. ábrából.



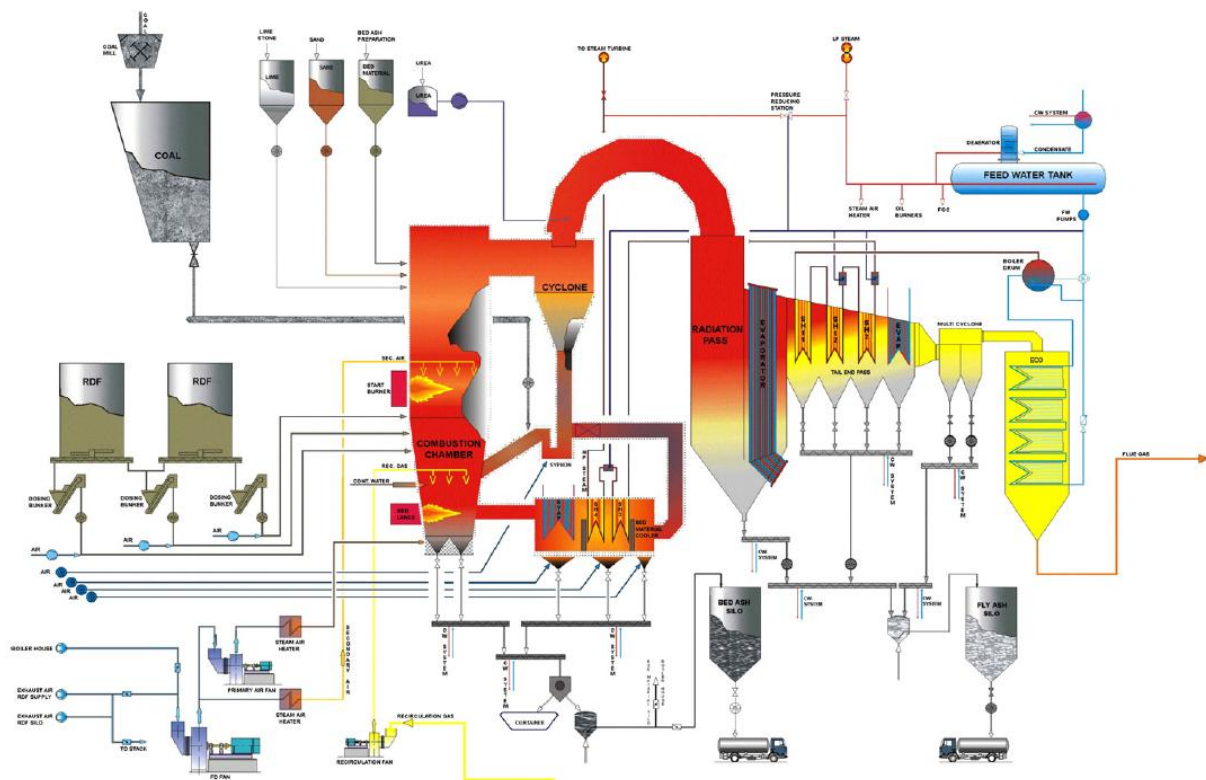
**6.2.1.16. ábra: A ConTherm eljárás és erőműbe történő integrálása**

Aprítás után a hulladék pirolizálódik egy köpenyfűtéses forgódobos reaktorban. A durván egy órás tartózkodási idő után a 450 – 550 °C-on pirolizált szilárd termékeket osz, ahol a nehézfémek leválasztásra kerülnek. A megmaradt pirolízis kokszt szén malmokra adják fel, ahonnan közvetlenül az égetőbe kerül. A pirolízis gázt is közvetlenül az égetőbe vezetik, a kemence alsó részénél. A jelenlegi határértékek betartásához semmilyen extra berendezés nem szükséges a füstgáz tisztításához a megszokottn kívül. Ez a fajta termikus hulladékkezelési eljárás azzal az előnnyel bír, hogy a pirolízis termékek égetésére, hő visszanyerésre és a füstgáz tisztításra is a már meglévő erőmű infrastruktúráját használja. Ez alacsony beruházási költséget jelent, és egyúttal gazdasági előnyt is a hagyományos hulladékégetőkkel szemben. A jelenlegi erőművet két pirolízis dobbal tervezték, éves szinten 100.000 t hulladék feldolgozására. Ezt nem a válogatás nélküli hulladék kezelésére tervezték, hanem a mechanikai – biológiai kezelés utáni, bomló szerves anyagtól leválasztott nagy fűtőértékű frakció feldolgozására. Kisebb módosítások és optimalizálás után a rendszer jól működött.

A pirolízis dob helyett a CFB (cirkuláló fluid ágy) gázosító szintén alkalmazható. Egy ígéretes eljárást javasol a Fraunhofer – Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT.

A mechanikai – biológiai hulladékkezelés első lépése az aprítás, majd azt követő osztályozás és szétválasztás. A szétválasztás során kinyert fémek újrahasznosításra kerülnek, az inert

maradékok pedig lerakásra. Az ezek után megmaradt frakciót biológiailag stabilizálják, eközben a biomassza egy része komposztta alakul. Az ezt követő szítálás során a finom frakció szolgáltatja a komposztot, amely mezőgazdasági felhasználásra kerül. A durva frakciónak viszonylag magas a fűtőértéke, így ez hasznosítható vagy RDF-ként a fosszilis tüzelőanyagok helyettesítéseképpen a hagyományos szénérőművekben, vagy alapanyagul szolgálhat az új, kifejezetten erre a tüzelőanyagra tervezett kazánokban. Ezt a kutatást szerző egy projekthez kapcsolódóan végezte, melynek szintén részese volt egy hamburgi közmű, amely a villamos energia mellett hőt állít elő a város közvetlen fűtésére. Első lépésként egy mechanikai – biológiai kezelő művet építettek 210.000t/év települési hulladék kapacitással. Ez az üzem 103.000 Tt/év RDF-et állít elő 14,5 MJ/kg fűtőértékkel, amely érték jelentősen magasabb a települési hulladékra jellemző 9MJ/kg-os értéknél. Ezután az RDF adja a tüzelőanyagot az újonnan épített cirkuláló fluidágyas kemencéhez (CFB), amely két régi széntüzelésű kemencét helyettesít. A CFB-t az Austrian Energy and Environment építette. A felépítése a 6.2.1.17. ábrán látható.



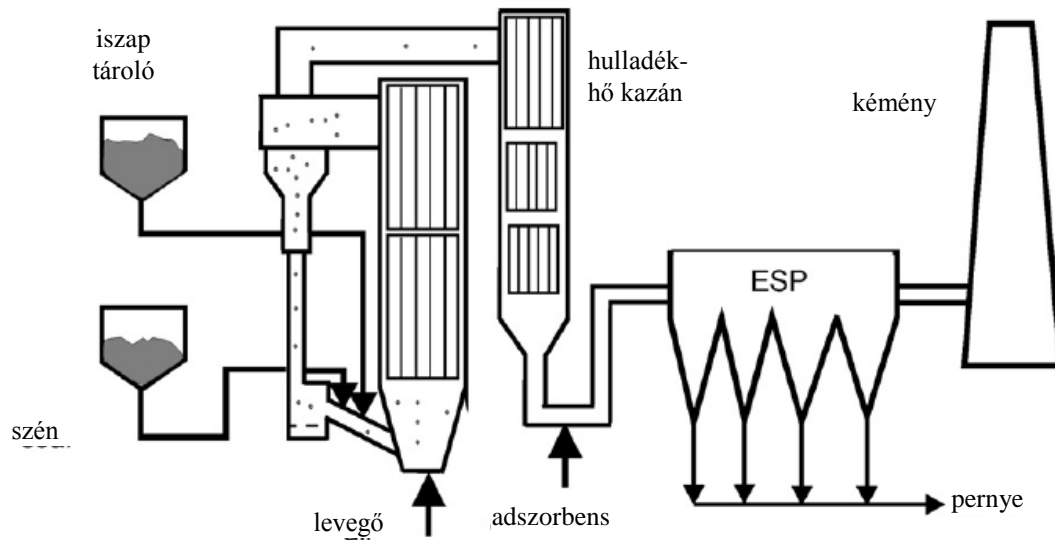
6.2.1.17. ábra: Neumünster kemence előkezelte települési hulladékra

Az erőmű szíve a CFB kemence az óriási ciklonnal az ágy anyagának recirkuláltatásához. Az égetőt követi a hőcserélő zóna, majd a NID rendszerű füstgáz kezelés.

### Hulladék együttégetése széntüzelésű erőművekben

A 2001/76/EC EU direktíva és a megfelelő előírások törvényes keretet biztosítanak a hulladék égetéshez. 2001-ben 43 erőmű üzemelt hulladék-együttégetéssel, és ez a szám azóta is növekszik. A homogén hulladék, pl. szennyvíziszap együttégetése viszonylag könnyű. Másrészt viszont a németországi adatokat tekintve az éves szinten keletkező durván  $2,7 \cdot 10^6$  t száraz anyag kevés a fosszilis tüzelőanyag fogyasztáshoz képest, ami  $46 \cdot 10^6$  t/év antracit és  $151 \cdot 10^6$  t/év barnaszén volt 1996-ban.

Az alábbi 6.2.1.18. ábrán átható szennyvíziszap együttégető a RWE Power's Berrenrath erőműben. A víztelenített iszapot egyszerűen beszivattyúzzák a kazánba, és a szénnel együtt kerül feladásra a szilárd recirkulációs körbe, ami szállítja a szilárd anyagot vissza a CFB égetőkamrába. Miután a Hg emissziós határértékek szigorodtak, így a gáztisztítás kiegészült aktív szén adszorbensek befűtatásával a csatornába, még mielőtt a gáz az ESP-re kerül.



**6.2.1.18. ábra: Szennyvíziszap együttégető a Berrenrath erőműben**

A Heilbronn erőmű esetén semmilyen módosításra nem volt szükség, amikor együttégetőként kezdett működni. Ez az erőmű 20,000 t/év száraz és 60,000 t/év mechanikusan víztelenített szennyvíziszap együttégetésére kapott engedélyt, melyet egyszerűen a malmokra való szénnel együtt történő feladással végeznek. Azáltal, hogy viszonylag könnyű ezzel a módszerrel az együttégetést megvalósítani, ez a technológia egyre szélesebb körben terjed a gyakorlatban.



## **VESZÉLYES HULLADÉKOK ÉGETÉSE**

A veszélyes hulladékokkal való ténykedés kereteit a 98/2001. (VI. 15.) Kormány Rendelet szabályozza.

2005. június 30. óta egyetlen olyan veszélyes hulladékégető sem működhet hazánkban, amely nem felel meg a 3/2002. (II. 22.) KöM Rendeletnek, ami a

- hulladékok égetésének műszaki követelményeiről,
- működési feltételeiről
- és a hulladékok égetés technológiai határértékeiről szól.

Ez a rendelet tartalmazza többek között a hulladékégetők, hulladék együttégető művek

- üzemeltetésére,
- a légszennyező anyagok kibocsátási határértékeire,
- a füstgáztisztító egységből származó szennyvízkibocsátásokra,
- a kibocsátott szennyező anyagok mérésére vonatkozó előírásokat.

### ***Az Európai Parlament és a Tanács 2000. december 4-i 2000/76/EK Irányelve a hulladékok égetéséről***

- *Az irányelv célja, hogy megelőzze, illetve korlátozza a hulladékégetés és együtt-égetés következtében a környezetre gyakorolt negatív hatásokat, különösen a levegőbe, talajba, felszín alatti vizekbe történő kibocsátások okozta szennyezéseket, valamint az emberi egészség ebből eredő veszélyeztetését.*
- *Üzemeltetési feltételek:*
- Az égető műveket olyan égetési szint elérésével kell üzemeltetni, amelynél a salak és a fenékhamu összes szerves széntartalma (TOC) kevesebb, mint 3%, vagy amelynél ezek begyűjtésakor képződő vesztesége az anyag szárazanyagának kevesebb, mint 5%-a.
- A hulladékégető és együtt-égető műveket úgy kell megtervezni, hogy meg lehessen előzni a jelentős talajszínti légszennyezéssel járó kibocsátásokat; az égéstermék-gázokat ellenőrzött körülmények között, olyan kéményeken keresztül kell kiengedni, amelyek magasságát az emberi egészség és a környezet védelmének szem előtt tartásával számították ki.
- Amennyire gyakorlati szempontból ez lehetséges, a hulladékégető vagy együtt-égető folyamat során keletkezett hőt hasznosítani kell.
- A fertőző kórházi hulladékot azonnal és közvetlen érintés nélkül az égető kemencékbe kell adagolni, anélkül, hogy azt megelőzően más kategóriába tartozó hulladékkal elkeverték volna.
- A hulladékégetőket úgy kell megtervezni, felszerelni, megépíteni és üzemeltetni, hogy az égéstermék gázokban a meghatározott kibocsátási határértékek túllépésére ne kerüljön sor.
- A füstgázok tisztításának eredményeként keletkező szennyvizeknek a vízi befogadóba való kibocsátását, amennyire gyakorlati szempontból az lehetséges, legalább a megadott kibocsátási határértékeknek megfelelően korlátozni kell.
- Az üzemek működésének eredményeként keletkező maradványanyagok mennyiségét és káros hatásait a lehető legkisebbre kell csökkenteni. A maradványanyagokat lehetőség szerint közvetlenül az üzemben vagy azon kívül, a hatályos és vonatkozó közösségi jogszabályok figyelembe vételével újra fel kell használni.



- A paraméterek, égési körülmények és tömegkoncentrációk folyamatos nyomon követése céljából az égetési és együtt-égetési folyamatnak megfelelő mérőberendezéseket kell telepíteni, és a megfelelő technikát kell alkalmazni.

A légszennyező anyagokkal kapcsolatban az alábbi méréseket kell a hulladékégető vagy együtt-égető műveknél elvégezni:

- az alábbi anyagok folyamatos mérése: NO<sub>x</sub>, CO, összes por, TOC, HCl, HF, hőmérséklete és vízpára-tartalma; SO<sub>2</sub>;
- az alábbi technológiai paraméterek folyamatos mérése: hőmérséklet belső fal közelében, oxigén koncentráció, nyomás, az égéstermék gázok
- évente legalább kétszer nehézfémek, dioxinok és furánok mérése, azt a beüzemelést követő első 12 hónapban 3 havonta legalább egy alkalommal kell elvégezni.

Az égetőt úgy kell megtervezni, hogy a folyamatban a keletkező gáz hőmérséklete az égetési levegő utolsó befűtatását követően még a legkedvezőtlenebb körülmények közt is 850°C-ra emelkedjen, amit 2 másodpercig kell mérni. Amennyiben 1%-nál nagyobb, klórban kifejezett halogénezett szervesanyag-tartalmú veszélyes hulladék égetése folyik, a hőmérsékletnek legalább 2 másodpercen át 1100°C-ra kell emelkednie.

Az égető minden technológiai sorát legalább egy kiegészítő égővel kell felszerelni, aminek automatikusan be kell kapcsolnia, ha az égéstermék-gázok hőmérséklete az utolsó táplevegő-befűtatást követően 850°C, illetve 1100°C alá csökken. Alkalmazni kell még indításkor és leállításkor, hogy a minimum hőmérsékletek a fenti műveletek alatt végig fennmaradjanak, és az égéstérben ne maradjon el nem égett hulladék.

A berendezés indításkor és leállításkor, ill. amikor a hőmérséklet 850°C, ill. 1100°C alá esik, a segédégőt nem szabad olyan tüzelőanyaggal táplálni, mely a gázolaj, folyékony gáz vagy földgáz égetése során keletkező kibocsátásnál magasabb szintű kibocsátást eredményez. Meghibásodás esetén az üzemeltetőnek csökkentenie kell, vagy le kell állítania a műveleteket, amint a gyakorlati szempontból megoldható, egészen addig, amíg a normális üzemi körülmények ismét helyre nem állíthatók

2008. év végére összesen 4150 ezer tonna veszélyes hulladék keletkezése várható, mely vörösiszap nélkül 3200 ezer tonnát jelent.

A képződő veszélyes hulladék kezelésénél a lehetőségekhez képest növelni kell a hasznosítási mértéket.

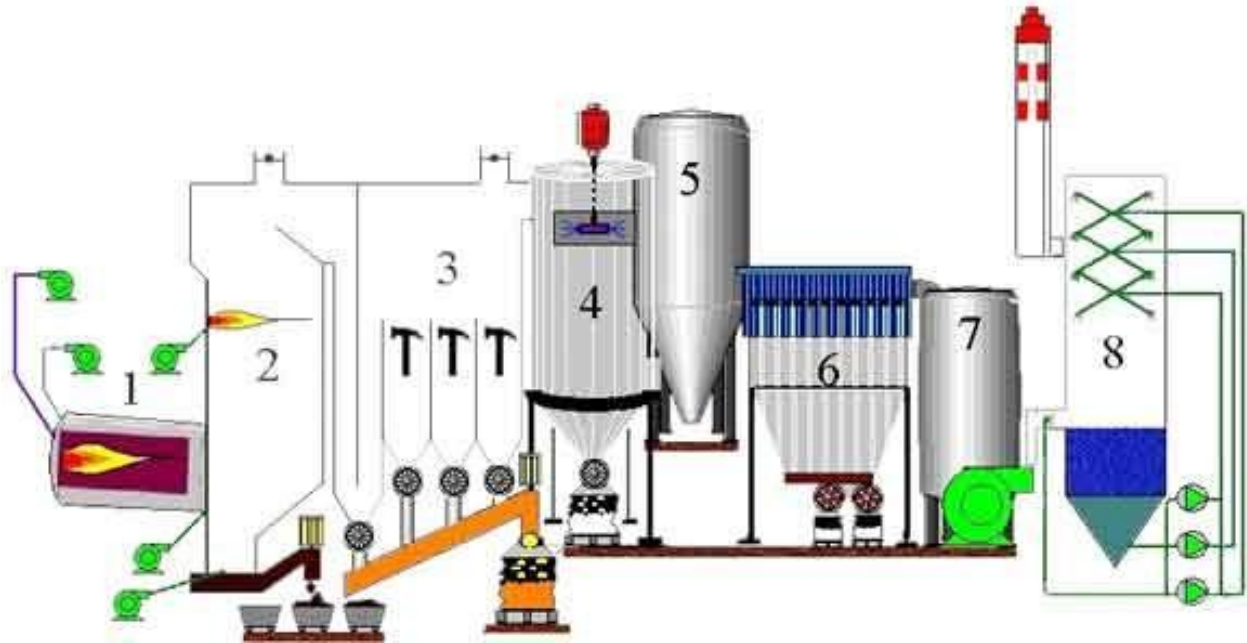
Magyarországon a 1000 t/év kapacitástól nagyobb égetők száma több mint 10. Az összes kapacitásuk 110 -420 tonna/év, aminek kihasználtsága 83%-os. Ez a kihasználtság csökkeni fog, mivel a hulladékégetőktől a hasznosítási engedélyeket be fogják vonni, és kizárólag a cementgyárak és erőművek vehetnek majd át hulladékot hasznosításra. Ez ellen lobbiznak az égetők, mert ha ez így maradna, nem lehetne hulladékot importálni Magyarországra, ami komoly probléma lenne ennek az iparágak. Továbbá sok ügyfélnek fontos, hogy hasznosítsák a hulladékaikat.

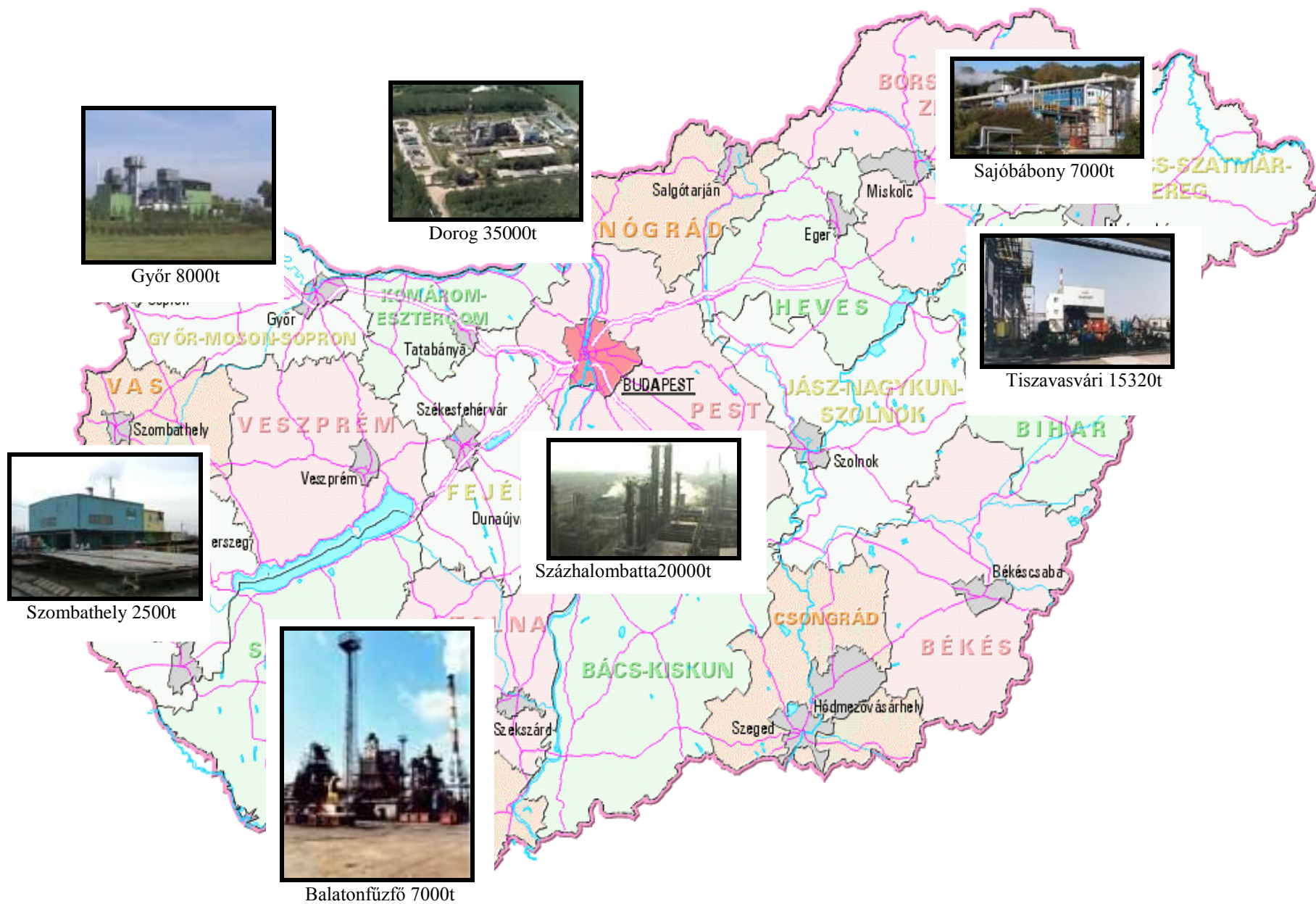
Veszélyes hulladékégetés jellegzetessége

- Változó halmazállapotú, összetételű, fűtőértékű és mennyiségű hulladék érkezik változó göngyölegben
- Égetési menü meghatározása:
  - energetikai
  - emissziós szempontból
- Gondosabb füstgáz-tisztítás
- Salak és pernye – tehát az égetés maradékai veszélyes hulladékok.

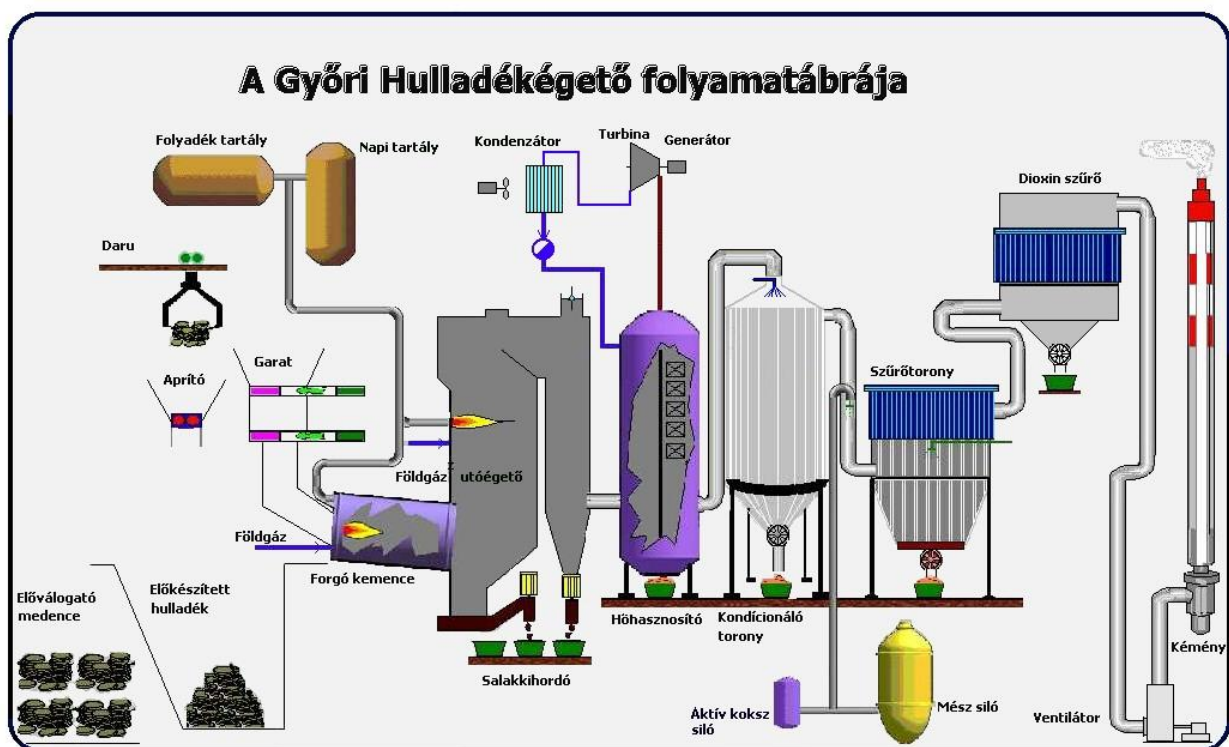
## DOROG

1-Forgódobos kemence; 2. Utóégető kamra; 3. Hőhasznosító kazán; 4. Abszorber; 5. Mészporos és aktívszén reaktor; 6. Zsákos porleválasztó; 7. Katalitikus dioxinmentesítő; 8. Mosótorony









#### Irodalom

dr. Örvös Mária BME: Ártalmatlanítás termikus eljárásokkal ([vegyelgop.bme.hu](http://vegyelgop.bme.hu))  
[tankonyvtar.hu/konyvek/kornyezettechnika](http://tankonyvtar.hu/konyvek/kornyezettechnika)

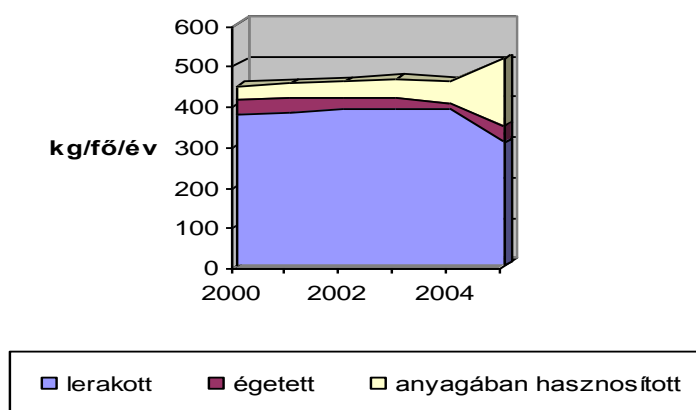
S. Patumsawad, K.R. Cliffe: Experimental study on fluidised bed combustion of high moisture municipal solid waste, *Energy conversion and management* 43 (2002) 2329-2340

Joachim Werther: Gaseous emissions from waste combustion, *Journal of Hazardous Materials* 144 (2007) 604-613

## 6.2.2. Hulladékok pirolízisi és elgázosítása

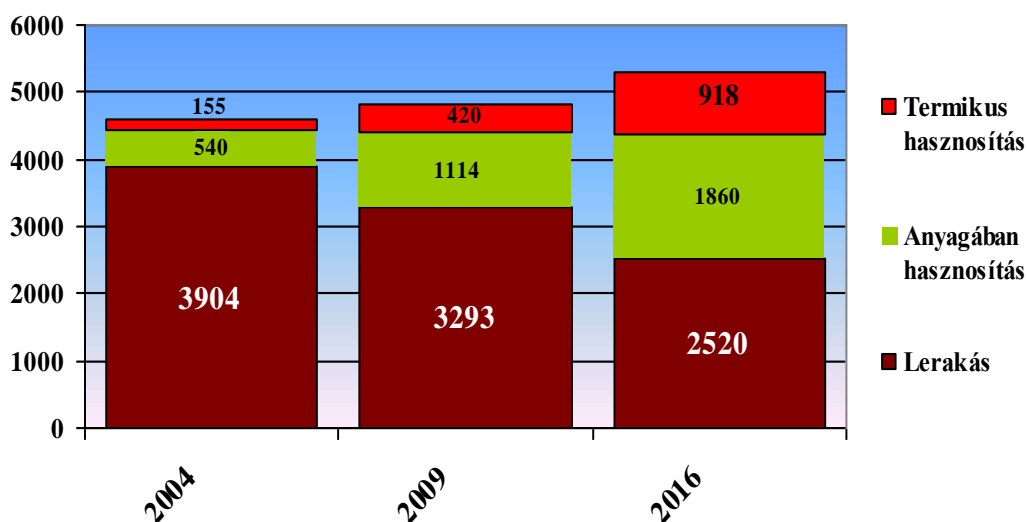
Fejezet szerzője: Dr. Bokányi Ljudmilla

Az alábbi 6.2.2.1. ábra a különböző települési hulladék kezelési eljárások megoszlását mutatja 2000 és 2008 év között. Jól látható, hogy - alkalmazkodva EU-s direktívához- a lerakott hulladék mennyisége folyamatosan csökken, valamint az elégetett hulladék mennyisége is, és egyre inkább jellemző a hulladék anyagában történő hasznosítása.



6.2.2.19. ábra: települési hulladékok kezelése 2000-2008 között

Amennyiben a lerakott hulladékmennyiséget, az anyagában hasznosított mennyiséget és az égetés helyett a termikus hasznosítást hasonlítjuk össze, úgy - mint ahogy azt a 6.2.2.2. ábra is mutatja- látható, hogy míg a lerakás és az anyagában történő hasznosítás esetén a tendencia alapvetően ugyanaz, tehát a lerakott hulladék mennyiség csökken, a hasznosított nő, viszont ez esetben már a termikus hasznosítás részaránya szintén nőni fog a következő években.



6.2.2.20. ábra: TSZH mennyiségek alakulása a kezelés módja szerint

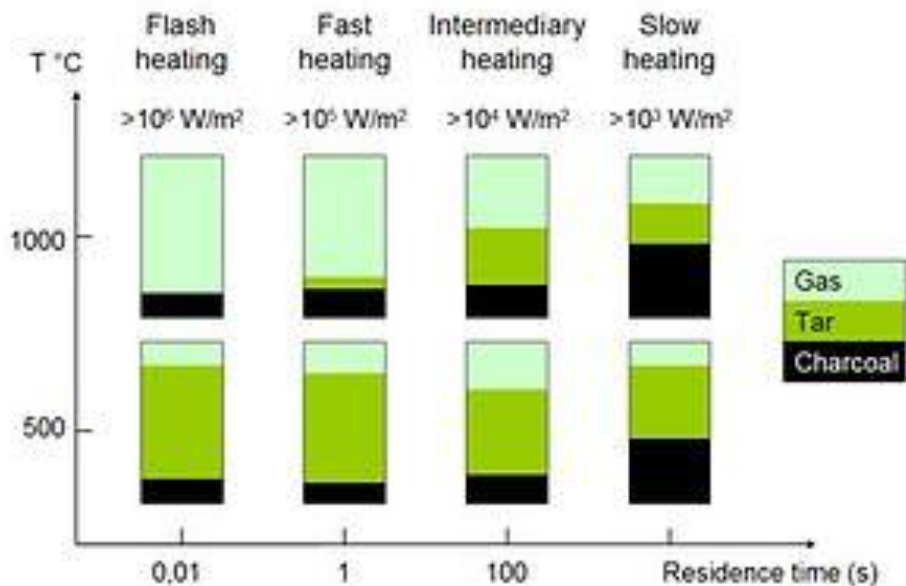
Ez a növekvő tendencia azért prognosztizálható, mert a hulladékok termikus kezelési bontási eljárásai számos előnnyel bírnak az elégetéssel szemben. Kevesebb a légnemű emisszió, kevesebb a maradékanyag, szennyezők szabályozása könnyebben elvégezhető, az

üzemek általában modulárisak, könnyű növelni a kapacitást, nagyobb hozzáadott értékű terméket állít elő, a Waste – to Energy elv itt is érvényesül. Az eljárásoknak vannak hátrányai is, mint a fokozott anyag előkészítési igény, főként a kisebb hőmérsékletigényű eljárásokban a gáztisztítás összetettebb és komplikáltabb, a keletkező, többnyire erősen szennyezett mosóvizet is komplex módon tisztítani kell, az égetéshez képest nagyobb a lehetősége a nehezen bomló, nem tökéletes égéstermékek képződésének.

### **Hőbontás (pirolízis)**

A hőbontás (pirolízis) a szerves anyagú hulladék megfelelően kialakított reaktorban, hő hatására, oxigénszegény vagy oxigénmentes közegben – esetleg inert gáz (pl. nitrogén) bevezetés közben –, szabályozott körülmények között bekövetkező kémiai lebontása.

A hőbontás során a szerves hulladékból pirolízis gáz, folyékony termék (olaj, kátrány szerves savakat tartalmazó bomlási víz), és szilárd végtermék (pirolíziskoksz) keletkezik. Ezek összetétele, aránya és mennyisége a kezelt hulladék összetételétől, a reaktor üzemi viszonyaitól és szerkezeti megoldásától függ. A végtermék elsősorban energiahordozóként (fűtőgáz, tüzelőolaj, koksz), ritkábban vegyipari másodnyersanyagként (pl. a gázterméket szintézisgázzá konvertálva metanol előállításához) és esetenként egyéb célokra (talajjavítás szilárd, szénben dús maradékkal; fakonzerválás vizes maradékkal; granulált salakolvadék építőipari adalékanyagként stb.) hasznosítható.



**6.2.2.21. ábra: A termékek kihozatala**

A hőbontás során döntőek a kémiai átalakulás reakciófeltételei. Ide tartoznak elsősorban a hőmérséklet, a felfűtési idő és a reakcióidő, továbbá a szemcse-, ill. darabnagyság és az átkeveredés mértéke, hatékonysága. A végtermék összetételének és részarányának alapvető meghatározója a hőmérséklet (6.2.2.3. ábra). A hőátadástól függ a felfűtési sebesség, amely szintén hat a termékek összetételére. Az alkalmazott hőmérséklet tartomány általában 450–550 °C, azonban egyes eljárások ennél nagyobb hőmérsékleten is üzemelnek.

A reaktorok a fűtési mód szerint lehetnek:

- közvetett (reaktorfalon keresztül, ill. cirkulációs közeg segítségével) és



- közvetlen fűtési megoldásúak.

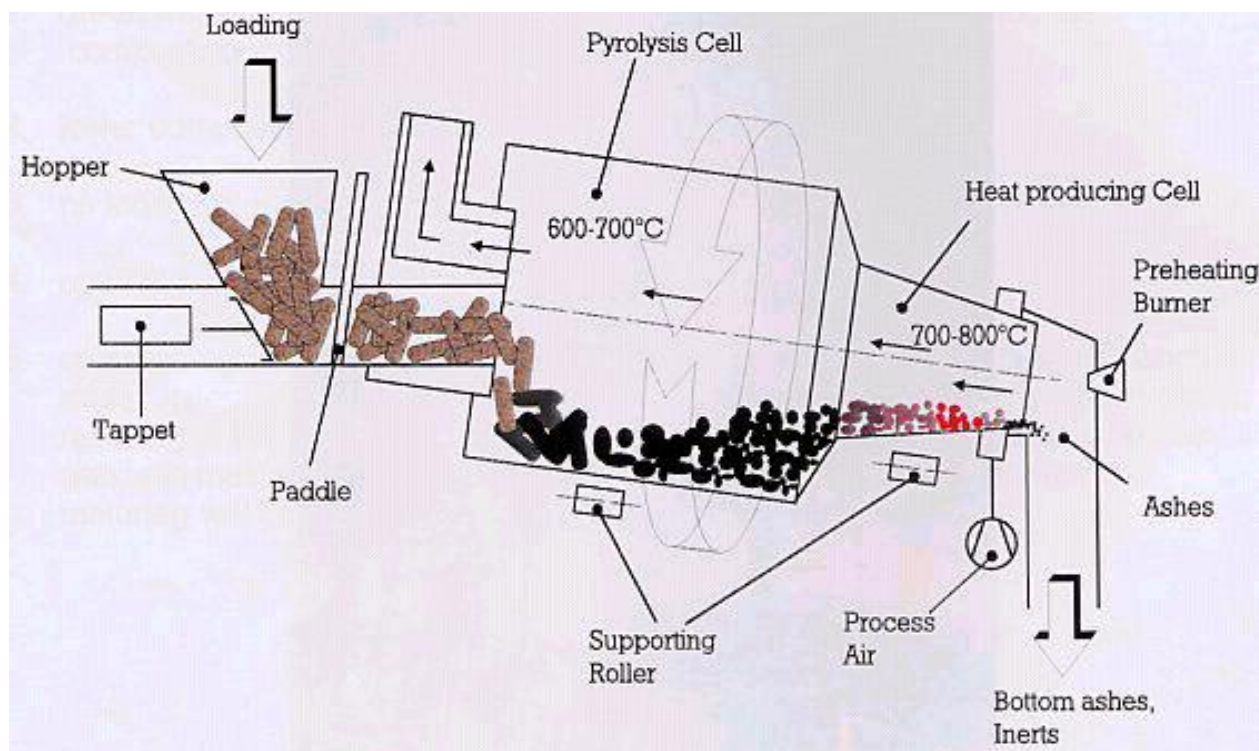
A közvetlen fűtésű reaktorokban a pirolízis és a hőenergiát szolgáltató parciális égés közös térben megy végbe. A reaktorfalon keresztüli hőközlés egyrészt rossz hatásfokú, másrészt az ilyen reaktorok érzékenyek a tűzálló falazat minőségére, viszont egyszerű üzemeltetésűek és jól szabályozhatók. A cirkulációs közegű hűtadás jó hatásfokú, ellenben bonyolultabb az üzemeltetése.

A legjobb hűtadási viszonyok a közvetlen fűtési módszerrel érhetők el, viszont ilyenkor megnő a gáztermékek szén-dioxid-, víz-és nitrogén-oxid-tartalma és körülményesebb a folyamatszabályozás is. A reaktorban feldolgozott anyag és a pirolízisgázok egymáshoz viszonyított áramlási iránya szerint megkülönböztetünk egyen-, ellen-és keresztáramú eljárásokat. Az áramlási irány lényeges a gáztisztítás bonyolultsága szempontjából.

A hulladék hőbontására négyféle reaktortípus használatos:

- a vertikális vagy aknás reaktorok,
- a horizontális fix reaktorok,
- a forgódobos reaktorok és a
- fluidizációs reaktorok.

Az alábbi 6.2.2.4. ábrán egy forgódobos reaktor látható.



6.2.2.22. ábra:chicago reaktor

A szilárd maradékok a vízfürdős leválasztást követően különbözőképpen dolgozhatók fel (szervesen maradékok elkülönítése után aktív szén előállítás, közvetlen elégetése stb.). A gáz-és gőzállapotú termékek leválasztására és tisztítására a legkülönbözőbb gáztisztítási és gáz-gőz szétválasztási módszereket és kombinációikat (pl. ciklonokat, elektrofiltereket, gázmosókat, utóégető kamrákat, krakkoló reaktorokat) alkalmazzák. A hőbontás legnagyobb



előnye az, hogy termékei értékesíthető alifás és aromás szénhidrogének, továbbá légszennyező hatása jelentősen kisebb, mint a hulladékégetésé.

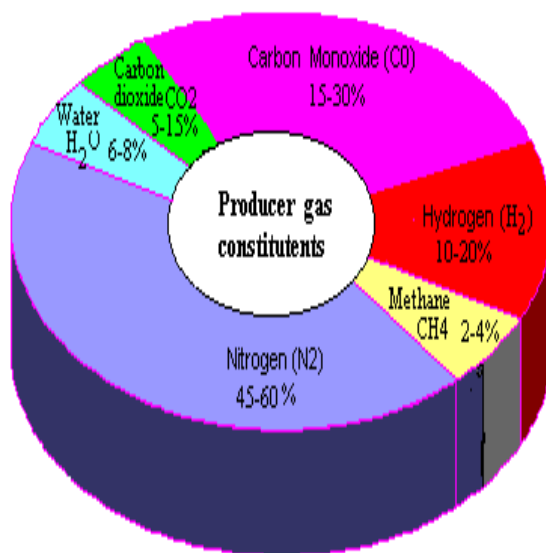
A pirolízis hátránya ugyanakkor a fokozott anyag-előkészítési igény, valamint az, hogy főként a kisebb hőmérsékletű eljárásokban a gáztisztítás összetettebb és komplikáltabb, valamint az ennek során keletkező, többnyire erősen szennyezett mosóvizet is komplex módon tisztítani kell. Hátrányos továbbá, hogy az égetéshez képest nagyobb a lehetősége a nehezen bomló, nem tökéletes égéstermékek képződésének. A hőbontási eljárások fejlesztése folyamatban van. A költségek az égetéshez hasonlóak, esetenként az üzemeltetési költségek a végtermékek kedvező értékesítése következtében fedezhetők is.

A gyakorlatban azok az eljárások terjedtek el először, amelyeket viszonylag homogén ipari hulladékok (pl. műanyag-és gumihulladék, savgyanta stb.) kezelésére fejlesztettek ki.

### Elgázosítási eljárások

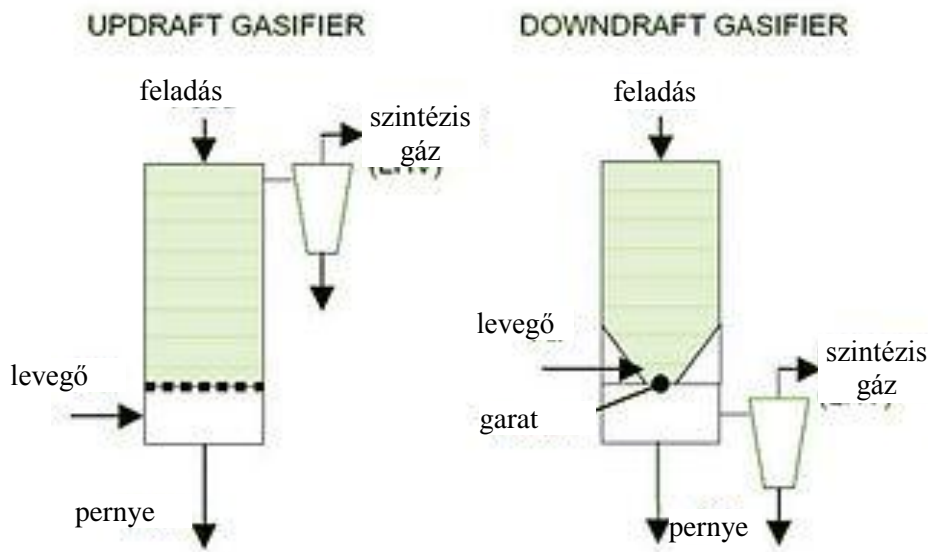
A hőbontási eljárások különleges típusát képviselik *az elgázosítási eljárások*, melyeknél a szerves anyagok hőbontása min. 850–950 °C hőmérsékleten (max. 1600–1700 °C hőmérsékletáthátrig), segédanyagok – levegő, oxigén, vízgőz – segítségével megy végbe, a lehető legnagyobb gázkihozatal érdekében. Az elgázosításhoz szükséges energiát a szerves anyagok parciális égetése biztosítja. A gáztermék döntően hidrogént és szén-monoxidot tartalmaz, fűtőértéke jelentősen az alacsony hőmérsékletű pirolízisgáz fűtőértéke alatt marad (levegővel történő elgázosításkor átlagosan 5000 kJ/m<sup>3</sup>, oxigénnel történő elgázosításkor átlagosan 10000 kJ/m<sup>3</sup>).

Gázosítóból származó szintézisgáz átlagos összetételét mutatja az alábbi 6.2.2.5. ábra:

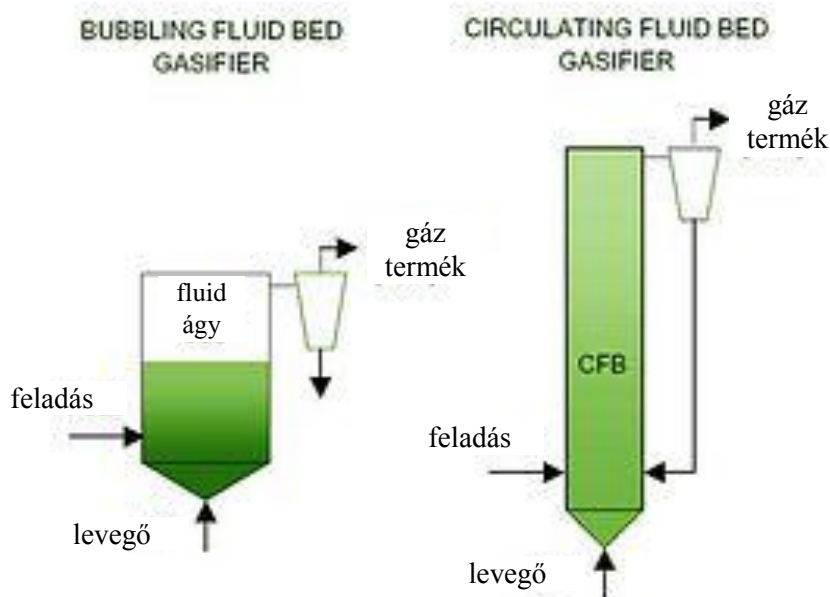


6.2.2.23. ábra: szintézisgáz összetétele

Az alkalmazott elgázosító reaktorok szilárd ágyas, fluid ágyas és áramlásos rendszerűek.



6.2.2.24. ábra: fix ágyas elgázosító



6.2.2.25. ábra: fluid ágyas elgázosító

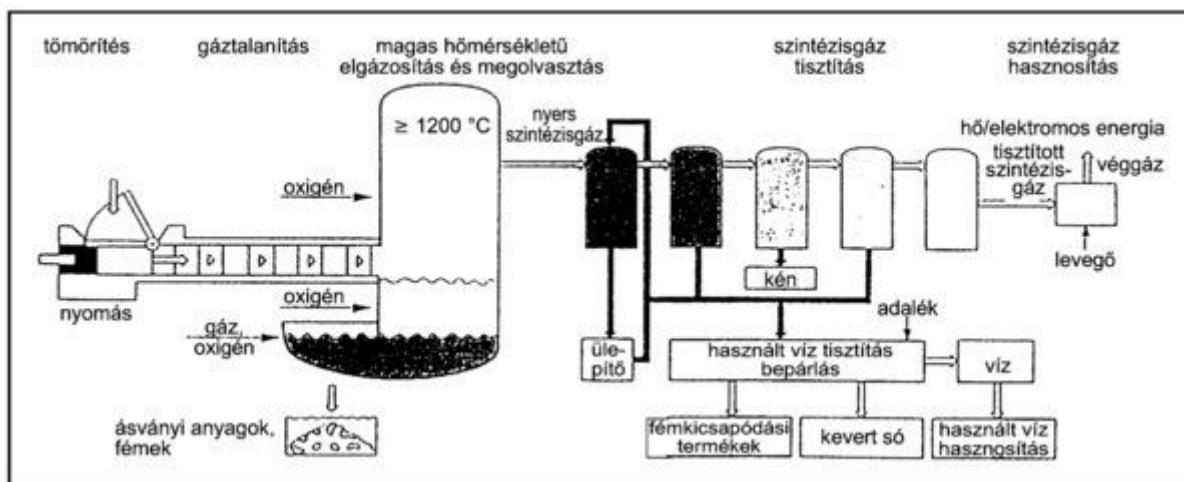
A gáztisztításra a pirolízises módszereknél említett komplex tisztítási eljárások alkalmazottak. A gáztermék energetikai hasznosításra kerül, amennyiben szintézisgázkénti felhasználásra van mód, akkor az elgázosító segédanyagként oxigént kell alkalmazni és nyomás alatti üzemelés szükséges (pl. metanol előállításnál). Ez azonban csak a vegyipari vagy petrokémiai üzemekben gazdaságos.

Az elgázosítási eljárások intenzív fejlesztése az elmúlt évtized során felgyorsult, az alábbi előnyök miatt:

- kisebb, tisztítandó gázmennyiségek,
- a nagymolekulájú szénhidrogének, főként az ártalmatlan klórtartalmú vegyületek nagyhőmérsékletű lebontása a dioxinok és furánok redukáló atmoszférával gátolt képződésével,

- üvegszerű salakgranulátum előállításával (nehézfémek megkötésével) a szilárd maradékok másodlagos környezetszennyező hatásának minimalizálása, egyúttal könnyebben hasznosítható végtermék kinyerése (hasonlóan a salak-olvasztásos égetéshez),
- a tiszta gáztermék előállítása, amely sokoldalúan (energianyerés, szintézisgáz) hasznosítható.

A Thermoselect-eljárás (6.2.2.8. ábra) technológiai lépései a hulladék tömörítése, pirolízis (gáztalanítás), elgázosítás és nagyhőmérsékletű égetés. Alapvetően szilárd települési és ipari hulladékok kezelésére dolgozták ki. A települési hulladék előkezelés (aprítás) nélkül feldolgozható a berendezésben. A hulladék heterogén összetétele miatt a kezelés első lépése a hulladék tömörítése. Ezt követi a levegő kizárása és állandó nyomás mellett, közvetetten fűtött pirolizáló csatornában a kigázosítás vagy pirolízis 500–600 °C hőmérsékleten, majd folyamatosan az elgázosítás tiszta oxigénnal 1200 °C hőmérséklet feletti tartományban. A megolvadt szervesetlen alkotórészek homogenizálva, stabil vegyületekben kötődnek meg, amelynek további hasznosítása kedvező (építési és kohászati alapanyag). A nagyhőmérsékletű elgázosítás során valamennyi szerves anyag elbomlik, a képződő szintézisgáz lényegében hidrogénből, szén-monoxidból és vízgőzből tevődik össze, kismennyiségű szilárd és gáznemű szennyező tartalommal. A gáz tisztítása a szokásos módon, több fokozatban történik.



6.2.2.26. ábra: A Thermoselect-eljárás egyszerűsített sémája

Az első lépés egy gyors hűtés (dioxin és furán vegyületek rekombinációjának megakadályozása), majd a kismennyiségű szilárd szennyezőt leválasztják és a termikus folyamatba visszavezetik. A gázalakú szennyezőket mosással távolítják el, a kénhidrogén eltávolítás speciális folyamatban történik, elemi kén leválasztásával.

Ezt követően a gázt hűtőben szárítják, majd aktív szén szűrőben tisztítják. A gáztisztításból származó kondenzátumokat és szennyvizet szennyvízkezelő egység tisztítja. A folyamatban felhasznált vízből fordított ozmózással és bepárlással kristályosított sókeveréket leválasztják. A gáztisztítás nem jár szennyvíz kibocsátással.

A tisztított gáz korlátlanul hasznosítható saját felhasználásra (pirolizáló csatorna fűtése, elgázosító reaktorba) vagy külső gőz, elektromos energia előállítására. Az a tény, hogy nem a füstgázból származó latens hőt, hanem kémiai kötött energiát használnak fel, lehetővé teszi a magas hatásfokú energiahasznosítást. Thermoselect-eljárással egy-egy üzem 108 ezer t/év kapacitással Ausbach-ban és 225 ezer t/év kapacitással Karlsruhe-ban kerül megvalósításra.

A röviden ismertett legújabb elgázosítási eljárások az égetés és a hőbontás előnyeit kombinálva, a másodlagos környezetszennyező hatásokat minimalizálva, a korszerű

hulladékégetőkhöz hasonló beruházási és üzemeltetési költségekkel a jövő alternatív eljárásainak tekinthetők a szilárd hulladékok termikus kezelésében a már kiforrott égetéses technológiával szemben.

### 6.2.3. HULLADÉKOK KEZELÉSE KÜLÖNLEGES TERMIKUS ELJÁRÁSOKKAL: PLAZMA-KEZELÉS

**Fejezet szerzője: Dr. Bokányi Ljudmilla, Dr. Mucsi Gábor**

Korunk egyik leggyakoribb problémája az egyre nagyobb mennyiségben keletkező hulladék, amelynek hagyományos módon történő kezelése – úgymint lerakókban történő elhelyezése és óceáni deponálása - egyre inkább korlátozott. Mivel számos hulladéktípus éghető, a közelmúltban erőteljesen megnövekedett az égetés - mint hulladékkezelő eljárás - szerepe. Azonban a nagy füstgáz kibocsátás és az emiatt szükséges gáztisztítás magas költsége, továbbá a veszélyes anyagokat tartalmazó maradékanyag keletkezése azt mutatja, hogy az égetés nem kínál teljes körű megoldást a hulladékok kezelésére, valamint sok hulladéknak alacsony a fűtőértéke, ezért ezek égetése további tüzelőanyagot igényel.

Ezzel szemben a plazma technológiával történő hulladékártalmatlanítás a következő fő előnyökkel jár: [1,5]

- A gyengébb minőségű ércekből, hulladékokból és melléktermékekből is nagytisztaságú fémeket és ötvözeteket lehet előállítani.
- A rendszer jól szabályozható és rugalmas, továbbá alacsony füstgázképződéssel üzemel, valamint eladható mellékterméket állíthatunk elő.
- Nagy hűtési sebesség révén metastabil anyagok keletkeznek.
- A reakcióegyensúlyi viszonyokat a magas hőmérséklet kedvezően befolyásolja.
- A gyors reaktor felfűtést és indítást, a nagy hőátadást, adott kapacitáshoz kis területigény tartozik

Mindezek mellett nagy hátránya a módszernek nagy költségekkel járó üzemeltetés a drága elektromos áram miatt. Gazdaságossági oldalt tekintve, tehát a plazma technológia elterjedésének leginkább ez a tény szab határt.

Az elektromos ív és a rádió-frekvencia indukció által gerjesztett termikus plazma a legelterjedtebb a gyakorlatban. Az ívplazma alkalmasabb a hulladékok kezelésére, mivel ez kevésbé érzékeny a folyamat körülményeinek változásaira.

Az ív-gerjesztésű plazmák általában kétféle kialakításúak lehetnek:

- Áthúzott íves: ahol az egyik elektróda rendszerint a kezelt anyag,
- Nem áthúzott íves: ahol az ív a plazmafáklyában található és a fáklyából kilépő plazmasugarat használják a feldolgozáshoz.

Az áthúzott íves plazmában a hulladékot olyan plazma ív hatásának tesszük ki, amely hőmérséklete – a plazma gáztól és a hűtéstől függően – 12000...20000 K is lehet. Az ilyen típusú reaktor minimális plazmagáz-áramot igényel. Az áthúzott íves ipari létesítmények teljesítménye nagyon széles tartományban változhat - néhány száz W-tól egészen több tíz MW-osak is lehetnek.

A nem áthúzott íves változatnál a 10000...14000 K maximális hőmérsékletű plazmafáklya gondoskodik a hulladék kezeléséhez szükséges plazmaáramról [1].

A hulladékok kezelése mellett Dimon [5] szerint a plazma technológia alkalmazása lehetőséget nyújthat olyan hazai gyenge minőségű nyersanyagok és hulladék anyagok feldolgozására, amelyek hatékony és gazdaságos feldolgozását hagyományos technológiákkal nem sikerült megoldani. Ilyen anyag pl. az *úrkuti karbonátos mangánérc, a gyenge minőségű*

*bauxit, a vörösiszap, a pirit, a keményfém-hulladék és a különböző nagy értékű ritkafém hulladék.*

### **6.2.3.1. PLAZMA TULAJDONSÁGAI**

A plazma olyan magas hőmérsékletű gáz, amelyben atomok, molekulák, ionok, elektronok fotonok és egyéb atomi részecskék vannak jelen. A plazmagáz alapvetően eltér fizikai tulajdonságaiban a közönséges gázoktól. A közönséges gázok ugyanis elektromos szempontból gyakorlatilag teljes mértékben szigetelők, a plazma gázok viszont a bennük levő ionok és elektronok következtében jól vezetnek az áramot [30].

A plazma tulajdonságai az ionizációs fok függvényében nagymértékben változnak. Az ionizációs fok viszont elsősorban a hőmérséklettől függ, értéke a hőmérséklet növekedésével növekszik. Megkülönböztetünk forró, ill. igen nagy hőmérsékletű plazmát és viszonylag alacsonyabb hőmérsékletű plazmát. A forró plazmában az ionizációs fok 80-100 %, hőmérséklete akár 100 millió °C is lehet. Ilyen pl. a Nap és a csillagok többsége. A technikai gyakorlatban a jóval alacsonyabb hőmérsékletű plazmával találkozunk, amely ionizációs foka csupán néhány % és hőmérséklete pedig 5000...30000 °C között változik.

A plazma alapvető tulajdonsága, hogy kifelé igyekszik elektromosan csaknem teljes mértékben semleges maradni, vagyis az elektronok és ionok sűrűségét igyekszik azonosnak tartani a tér minden pontján. Ez az elektronok nagy fajlagos töltésének a következménye, mivel bármely jelentősebb töltéskülönbség erős elektromos teret hoz létre, aminek a hatására semlegesítő elektron-felhő lép be a pozitív töltésű tartományba. Tehetlenségük miatt az elektronok az eredetileg töltéssel rendelkező tartomány körül rezegni fognak, amely a plazma egyfajta folyamatos hullámzását idézi elő. A plazma hullámokat tehát a kvázineutralitás helyi jellegű folyamatos megszűnése és újbóli helyreállítása okozza. A plazmában háromféle hullámzás alakulhat ki: az elektrosztatikus, az elektromágneses és a magnetohidrodinamikai.

Az ionizáció az elektron ütközések hatására bekövetkező energia felvétel következtében jön létre, mégpedig úgy, hogy az atomok elektronjainak egy része magasabb energia nivójú pályára jut. Ez kezdetben a gerjesztett atomi állapotot jelenti, majd bizonyos kritikus energia átvétele után az elektron leszakad az atommagról és szabad elektronná válik, azaz az atom ionizálódik.

A technikai gyakorlatban alkalmazott plazmákban, ahol viszonylag alacsony elektron-energia értékekkel számolhatunk, a hidrogén atomok esetében bekövetkező ütközések közel fele ionizációt eredményez. Ami azt jelenti, hogy a hidrogén viszonylag jó hatásfokkal alkalmazható plazmaképző gázként. Az alkáli fémgőzöket és nitrogént tartalmazó gáz kedvezőbb ütközési ionizációs hatás keresztmetszettel rendelkezik, mint a nemesgázok, pl. argon.

Az ionizációval egyidejűleg, azzal ellentétes irányú folyamatok is lejátszódnak a plazmában, amelyeket rekombinációs folyamatoknak nevezünk. Rekombinációnak a neutrális atomok képződési folyamatát nevezzük, amely a töltéssel rendelkező elemi részecskék kölcsönhatásának az eredményeként jön létre jelentős hőfejlődés közben.

A technikai plazma előállítására leggyakrabban az elektromos ívfényt használják. Ezt úgy tudjuk előállítani, hogy az ívfényen keresztül gázokat fűvátunk át. Ennek gyakorlati megvalósítására egy központi elektródát (általában katódként) és az azt körülvevő vízűtéses fűvókát (bizonyos esetekben mint anódot) alkalmaznak [31].

### 6.2.3.2. KÜLÖNBÖZŐ HULLADÉKOK KEZELÉSE PLAZMÁVAL, HULLADÉKOK CSOPORTOSÍTÁSA

A plazma biztosítja a nagy hőmérsékleten bekövetkező intenzív hőáramot és a reaktív alkotók magas áramát. Maga a plazma-kezelés a következő folyamatokból áll:

a) Plazma-pirolízis, azaz a kémiai komponensek termikus lebontása oxidáció nélkül.

b) Plazma-elgázosítás, a hulladék szerves komponenseinek nem teljes oxidációja és éghető gáz képződése (CO és H<sub>2</sub> keveréke, szintézisgáz). Ez a gáz különböző célokra használható: hidrogén előállításra, gázmotorokban történő elégetésükkel elektromos energia termelésére, a gőzturbina meghajtásához szükséges gőz fűtésére.

c) Szilárd hulladékok térfogatának csökkentése és üvegesítése a szerves anyagok elgázosításával. A szerves anyagok megolvasztásával a szemcsék közötti űr megszüntetése, és a veszélyes fémek megkötése egy kerámia mátrixban (szilikát). Megfelelően magas hőmérséklet mellett olyan vitrifikált kerámiák állíthatók elő, amelyek alacsony kioldási aránnyal rendelkeznek.

d) Az a) és c) vagy a b) és c) kombinációja, különösen nagy szerves anyag tartalmú szilárd anyagok esetében [1].

A hulladékokat, megjelenési formájuk és veszélyes anyag tartalmuk alapján, a következő fő csoportokba sorolhatjuk:

- **Veszélyes folyadékok és gázok:** PCB-t tartalmazó olajok, CFC-k, és széles körben használt oldószerek. Ezek legtöbbje magas fűtőértékkel rendelkezik, ezek elégetése a halogéntartalom miatt más veszélyes melléktermékek keletkezéséhez vezet. Ebbe a csoportba tartoznak a freontartalmú gázok, valamint a peszticidek (növényi és állati kártevők ellen használt kemikáliák).
- **Települési szilárd hulladék (MSW):** a legnagyobb anyagáram, amelyet hagyományosan hulladéklerakókban helyeznek el. Azonban a korlátozott hulladéklerakó kapacitás szükségessé teszi a térfogat csökkentő eljárások alkalmazását. Az égetés, a hulladék fűtőértéke miatt, egy széles körben alkalmazott módszer, azonban nem nyújt teljes körű megoldást az ártalmatlanításra.
- **Kórházi szilárd hulladék (HSW):** számos szennyező anyaggal. A magas fűtőérték miatt égetést részesítik előnyben.
- **Hulladék-égetőművek maradékanyaga:** salak és szálló pernye. Gyakran tartalmaznak nehézfém szennyezőket.
- **Szennyezett talaj:** rendszerint veszélyes szerves anyagokkal.
- **Szennyvíz iszap (SSW) és más iszap hulladékok:** különböző szerves szennyezőanyagokkal és magas nedvességtartalommal.
- **Kis sugárzású radioaktív hulladékok (LLRW).**
- **Katonai hulladékok:** az ideggáztól az azbeszt-tartalmú anyagokig.
- **Termelési hulladékok (kohászati hulladékok):** értékes anyagok visszanyerése. Ilyen pl. az elektromos ívkemence (EAF) szállópora vagy az alumínium salak. Platina visszanyerése használt katalizátorból.

Az optimális hulladékkezelő eljárás kiválasztásához célszerű az összetételük szerint osztályozni a másodnyersanyagokat:

1. Nagy szervesanyag tartalommal és magas fűtőértékkel rendelkező hulladékok: a nagy fűtőérték hasznosítása céljából plazma technológiával történő

szintézisgáz előállításával egy alternatív megoldást jelent a hulladék teljes elégetéséhez és gőz előállítását.

2. Nagy halogén-tartalmú hulladékok: ide tartozik a legtöbb műanyag, amelyek nagy hőmérsékletű kezelést igényelnek és (gyors) hűtést igényelnek, nehézkesen kapható az értékes társtermék.
3. Szervetlen szilárd anyagok: amelyek kezelése során értékes anyagok kinyerése valósítható meg, vagy az olvasztással a térfogatuk csökkenthető, vagy oxidálással egy kioldhatatlan salak formájában immobilizálható.

Fentiek közül a veszélyes folyadékokat és gázokat viszonylag könnyű pirolizálni plazmával, azonban mivel ezek rendszerint halogéneket tartalmaznak, nehéz eladható terméket előállítani belőlük. Ezért a folyamat nem gazdaságos. Ebből kifolyólag ez a módszer ott alkalmazandó, ahol a környezetvédelmi szabályozások megkövetelik a hulladékok magas fokú kezelését. Az eljárás füstgáz kibocsátása jóval a hagyományos égetés alatti. A plazma technológia egyik előnye, hogy kis méretekben is hatékonyan üzemeltethető, ezért a berendezés hulladékhoz történő szállításával a hulladékszállítási költség elkerülhető (mobil üzem).

Az áthúzott íves módszernek két fő hátránya van. Egyrészt a hőáram nagy koncentrációja kis területen valósul meg, másodsorban pedig az eljárás egy elektromosan vezető hulladékot igényel. Az első pontra adhat megoldást a RETECH által kifejlesztett a hulladék mozgatására alkalmas forgó reaktor, vagy a Tetronics cég által megvalósított módosítás, a plazmafáklya mozgatása. A második problémára adhat megoldást az, hogy egy anódként funkcionáló fém elemet helyezünk be addig, amíg a hulladék nem rendelkezik a megfelelő szintű vezetőképességgel, részlegesen nem áthúzott íves üzemmódban működtetve a plazmát, vagy több ív használatával.

A szilárd hulladékok kezelésére szolgáló plazma rendszer a következő részekből áll: (a) plazma reaktor a fém és salak gyűjtésére szolgáló eszközökkel, (b) utóégető kamra a megfelelő tartózkodási idő elérése érdekében a reakciók teljes lezajlásához, (c) hűtő egység a dioxinok és furánok képződésének elkerülése céljából, (d) ciklon a szemcsés anyagok leválasztásához, (e) gáztisztító a savas gázok kezelésére, (f) H<sub>2</sub>S abszorber, ha szükséges, (g) porszűrő rendszer, (h) aktív szén szűrő a nehézfémek leválasztására és (i) egy ventilátor, az atmoszferikusnál kisebb nyomás létrehozása céljából [1].

A *kórházi hulladékok* plazmával történő kezelése esetében akár 90 %-os térfogatcsökkentés is elérhető, amely magasabb, mint a hagyományos égetési módon nyert arány. További előny, hogy a képződött gáz segítségével elektromos áramot állíthatunk elő.

Az utóbbi időben megnőtt a jelentősége az *autó shredder hulladéknak*, amely jelentős fémtartalommal rendelkezik. Az ilyen típusú hulladékok plazma technológiával történő kezelésekor lehetővé válik a fémek egyéb alkotóktól történő szeparált visszanyerése.

Japánban a szilárd települési hulladék 70 %-át elégetik, és a hulladék 15-30 %-át *salakként* és *filter pernyeként* gyűjtik. A legveszélyesebb anyagok rendszerint a pernyében dúsulnak fel, mivel ezek a nehézfémek alacsony forrásponttal rendelkeznek. Égetőművek maradékanyagainak kezelése plazma technológiával egyértelmű előnyökkel jár. Ez a módszer a legszélesebb körben használt, plazmával történő hulladékkezelő eljárás. Ugyanis mindamelllett, hogy 50 %-os további térfogatcsökkenés érhető el vele, a mérgező nehézfémek egy oldhatatlan üvegszerű salak formájában ártalmatlaníthatók.

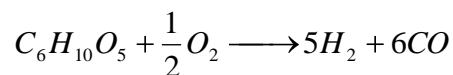


Hasonló megfontolásból alkalmazhatjuk a módszert szennyezett *talajok és szennyvíz iszapok* kezelésére is. A plazma egy kiegészítő szerepet is játszhat az égetéshez szükséges füstgázok termeléséhez.

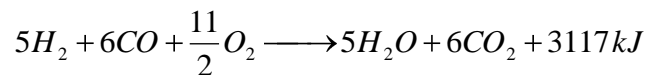
*Alacsony sugárzású radioaktív hulladékok, azbeszt és katonai hulladékok* még jelentősebb környezeti terhelést jelentenek, ezek lerakása és égetése a legtöbb esetben nem lehetséges. Ezekben az esetekben is jelentős térfogatcsökkenés (33 %) produkálható. Továbbá a plazma technológiával történő kezelés során a veszélyes és nem veszélyes hulladékok különböző hőmérsékleti viszonyokat előidézve szétválaszthatóak, és a radioaktív anyagok immobilizálhatóak salakként.

A legújabb plazma technológiával kapcsolatos kutatás-fejlesztések arra irányulnak, hogy a hulladékkezelés részeként egy eladható terméket állítsunk elő. Nyilvánvalóan a kezelés elsődleges célja az értékes fémek visszanyerése. Azonban a háztartási hulladékok kis fémtartalommal bírnak, de annál jelentősebb a szerves anyag tartalmuk, amelyből szintézis gáz állítható elő, amelyet elektromos áramfejlesztésre használhatunk, csökkentve ezzel a plazma technológia legnagyobb hátrányát, a nagy elektromos energia költségét.

A következő reakció során a nem tökéletes égés szintézis gázt termel:



Hozzávetőleg 1,1 t szintézisgáz termelhető 1 t cellulózból ( $C_6H_{10}O_5$ ). A gáz felhasználható hidrogén, cseppfolyósított tüzelőanyag, vagy vegyipari termékek előállítására, vagy hőtermelés céljából elégethető.



ami 20 GJ vagy 5,6 MWh tonnánkénti cellulóznak felel meg [1].

A plazma eljárások nagy része kerámia csempék, burkoló lapok gyártására alkalmas az olvadáshoz történő folyósító szer adagolása mellett.

PCB-kből vagy más veszélyes folyadékokból ipari gyémánt állítható elő a plazma pirolízis eljárás során. Erre a célra a nem áthúzott íves plazmák az alkalmasabbak, ugyanis ezzel egyenletes hőmérséklet eloszlást tudunk elérni. Elsőként az 1980-as évek elején a Westinghouse fejlesztette ki PCB bontására az ún. Pyroplasma eljárást (mobil üzemi) (P=850 kW) [6].

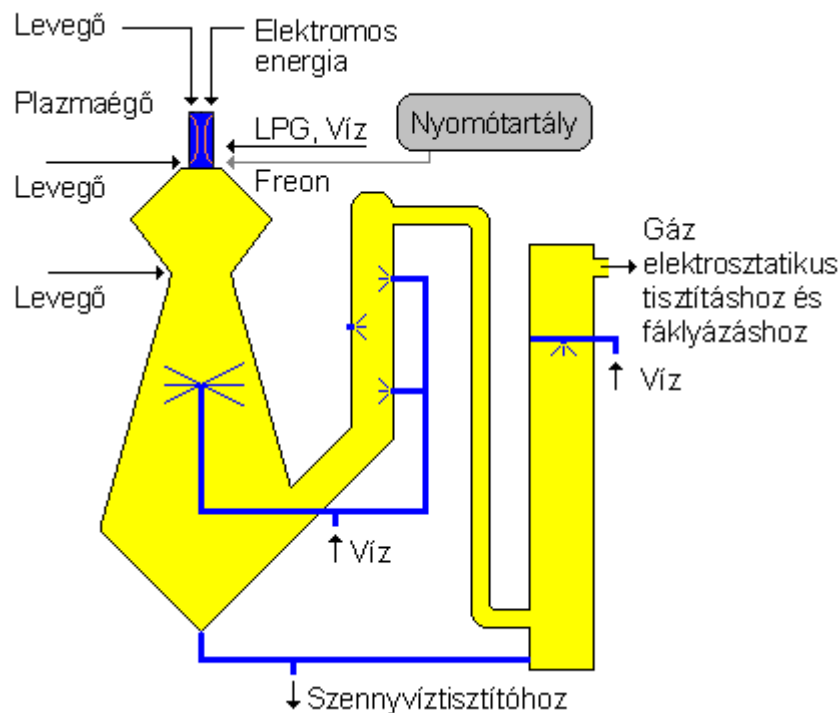
### 6.2.3.3. VESZÉLYES FOLYADÉKOK ÉS GÁZOK KEZELÉSE PLAZMÁVAL

#### PLAZMÁS FREONBONTÓ-ELJÁRÁS

Az eljárás során a **freontartalmú gázokat** levegővel, cseppfolyósított földgázzal és vízzel együtt injektálják egy reakciókamrába. A szükséges energiát a levegő egy részének a plazmagenerátorral való előmelegítésével biztosítják.

Az eljárás szokványos munkahőmérséklete 1300 °C. Az eljárás redukáló atmoszférában üzemel, mely biztosítja, hogy hőbontás után a CFC és a freon (HCFC) atomjai  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $HCl$  és  $HF$  molekulákat képezzenek.

A reakciókamrából való távozás után rögtön vízpermetes hűtést kap a gázelegy, majd egy nedves hűtőtoronyba vezetik. A víz  $Ca(OH)_2$ -vel telített, így a gázelegy savas alkotói, mint Ca-klorid és Ca-fluorid moshatók ki vízből. Az ezt követő töltetes toronyban a gázt a maradék savtartalom eltávolítása céljából még mossák. Ezután a gázt egy elektrosztatikus gáztisztítón engedik át, majd fáklyázáshoz viszik.



6.2.3.1. ábra. Plazmával segített freonbontó eljárás vázlatos rajza

A kivált folyópát ( $CaF_2$ ) nem oldódik vízben ezért, mint iszaptartalmát tartályban ülepítik, majd szilárdanyag tartalmát szűrőprésen választják le.

A Ca-kloridtartalmú szennyvizet koncentrációmérés után vagy szemcsés anyagok portalánítására használják, vagy pedig a befogadóba engedik.



6.2.3.2. ábra: Freonbontó reaktor

#### PESZTICIDEK TERMIKUS BONTÁSA PLAZMAÉGŐBEN [22]

A peszticid név gyűjtőfogalom: földművelők, kertészek, borászok és fűregirtók által **növényi és állati kártevők ellen használt kemikáliákat** jelent. Csoportosításuk a felhasználási területeik alapján történik: a herbacidekkel a nemkívánatos növények ellen harcolnak, rovarkártevők ellen az insecticideket használják, a fungicidok elpusztítják a gombákat, az akaricidek az atkákat, a nematicidek a férgeket, a rodenticidek pedig a rágcsálókat. A földön élő valamennyi élőlényre hatnak, ha kapcsolatba kerülnek azokkal. Elsősorban az élelmiszerláncon keresztül kerülnek a szervezetbe. A lakásban található peszticidek közül a különböző házi rovarirtószerek és azok szakszerűtlen használata jelenti talán a legnagyobb veszélyt. Különösen veszélyesek a lassan vagy alig bomló vegyületek, ezek felhalmozódnak, és hosszan tartóan tudják hatásukat kifejteni.

A peszticidek anyagi tulajdonságaira jellemző, hogy anyaguk általában különböző klórozott szénhidrogén, melyek kémiaiilag rendkívül stabil vegyületek, tehát hosszú évtizedek alatt sem bomlanak le. Másik káros jellemzőjük, hogy az emberi szervezet szöveteiben felhalmozódnak.

Ami a peszticidek ártalmatlanítását illeti, közismert, hogy hulladékainak újrahasználata, hatóanyagának kinyerése, reciklálása nem lehetséges. Ártalmatlanításukra a jelenleg a termikus módszerek terjedtek el.

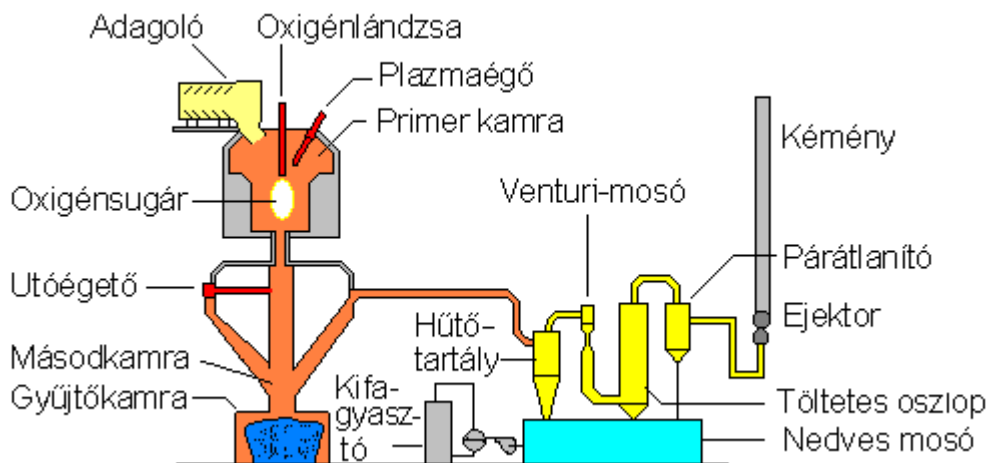
#### PACT- eljárás

A PACT (Plasma Arc Centrifugal Treatment) eljárást 1992-94-ben fejlesztették ki Ausztráliában, mely azóta már kereskedelmi méretekben is üzemel Európában és Amerikában. Az eljárás a plazmaív nagy hőmérsékletének olvasztóteljesítményén és szilárdanyag üvegesítő hatásán alapul. A szilárd anyagban levő szerves komponensek

elbomlanak és részben ionizálódnak, mielőtt a gázkezelő rendszerbe kerülnének. A maradék szervesetlen anyag megolvad és nem oldódó üveges fázist képez [22].

A PACT rendszer egy hőkezelő és gázkezelő rendszerből épül fel, mely az 3. ábrán látható. A hőkezelő egység részei: adagoló berendezés, primer égetőkamra, utóégető kamra, szekunder kamra és gyűjtőtér. A gázrendszert a következő részek képezik:

Hűtőtartály  
Venturi-mosó  
Töltetes ágymosó  
Párátlanító és egy  
Ejektoros levegőbefúvó.



6.2.3.3. ábra. A PACT-eljárás sémája

A hulladékot kezdetben manuálisan, zsilipelve, csigas adagolón keresztül adagolták. A hulladékot egyenletesen és folyamatosan juttatják az adagoló surrantót a primer kamrával összekötő ejtőcsövön keresztül a centrifugál reaktorba, mely egy központi nyílással rendelkező forgó cső.

A primer kamra alján levő egy rézadagoló cső van mely, szabályozza az anyagáramot, és kellő tartózkodást biztosít a plazmaív alatt. A primer kamrában legalább 1100 °C-ot kell tartani. A szilárd anyagot a centrifugális erő tartja a csőben. A primer kamra fala tűzálló anyagot és vízzel hűtött paneleket tartalmaz. A plazmareaktorba vezetett elektromos energia hozzásegít ahhoz, hogy a munkahőmérséklet meghaladja a kémiai reakciók által generált értéket. A kialakult munkahőmérséklet általában 1650 °C, mely bőven elég a talaj olvadáspontjának túllépéséhez.

A némi szervesetlen, köztük fémes anyagokat tartalmazó hulladék megolvad ezen a rendkívül magas hőmérsékleten. A szerves anyagok elillannak a plazmaív nagy hőmérsékletén. Egy lándzsán keresztül oxigént is adagolnak a primer kamrába a szerves anyag elégésének elősegítésére. A plazmaív fenntartását 3 fázisról táplált egyenáram biztosítja.

A primer kamarában az anyag eléri az elektromos vezetővé váláshoz szükséges hőmérsékletet, melyet követően az anyag lassan lefelé süllyedve melegszik a csőben és a falon.

Miután a primer kamra tartalma teljesen megolvadt, az ív energiáját arra használják, hogy a réz betétes átfolyónyílásban levő anyagot is megolvasszák. Amikor a hulladék megolvad, akkor lehetővé válik, hogy a centrifugális reaktor szárnyaiban a folyékony anyag középirányba mozogjon, és hogy végül reaktorcső alján eltávolításra kerüljön. Az anyag mozgását segíti egy földgáz utóégyő, mely ezen kívül a rövidláncú szerves anyagokat is segít

elégetni. A gáznemű égéstermékek a gázkezelő rendszerbe kerülnek. Egy a szekunder térbe épített kamera lehetővé teszi a salak mozgásának figyelemmel kísérését. Amennyiben szükséges, oxigénadagolással segítik a szerves anyag gyorsabb égését.

A távozó füstgázok kezelésére szolgáló füstgázrendszert a betétanyag jellemzőinek figyelembe vételével alakították ki. A gázok hűtésére és mosására 8,5 pH-jú szódaoldatot használnak, melyhez egy hűtőt is csatlakoztatnak, a gázok páratartalmának lecsapatásához. A hűtőt az elő egységhez csatlakoztatják, melynek gáztartalmát kb. 540 °C-ról 4 °C-ra hűtik. A hűtőtartályból a gáz Venturi-mosóba kerül, ahol a szilárd részek és a savas gázok eltávolítására kerül sor. A páratlanító végül az apró páracseppeket távolítja el a gázból.

A rendszer az atmoszférikus nyomású rendszertől hermetikusan el van zárva. A hasznosítható tisztított gázokat nyomásálló tartályokban helyezik el, mely később a kemencében kerül felhasználásra. A tiszta, de felesleges gázokat fáklyarendszeren keresztül juttatják a szabadba.

### *Előnyök*

A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy az

- az eljárás egyaránt alkalmas szerves és szervesetlen anyagokkal szennyezett hulladékok feldolgozására, melynek eredménye a nem oldódó szilárd anyag,
- a szerves anyagok lebontási hatásfoka nagyobb, mint 99,99 %,
- a tökéletlen égésből távozó könnyen illósítható fémek felhalmozódnak, melyeket el kell távolítani egy erre alkalmas gázmosóval. Amennyiben erre szükség van, akkor az anyag elhelyezése többletköltséggel jár.

Az eljárás alkalmasságát az USEPA SITE projektben való alkalmassága bizonyítja, melynek során 28 000 mg/kg (2,8 %) koncentrációjú ZnO és 1000 mg/kg (0,1 %) klórozott szénhidrogént tartalmazó dízelolajat kezeltek, melynek során mért lebontási fok 99,996 % volt és a kapott üveges anyag kioldódási mutatói megfeleltek a hatósági előírásoknak. A gázemissziós vizsgálatok adatai is megfeleltek, melynek során a távozó gázokban nem jeleztek dioxintartalmat.

### *Az eljárás alkalmazhatósága*

Az eljárás alkalmas arra, hogy a hulladékanyagok széles skáláját kezelhesse, beleértve a szerves és szervesetlen szennyezők széles körét is, úgyhogy a rendszert méltán nevezhetjük rugalmasnak.

A nagy volumenű anyagokhoz képesti rövid kezelési idő ellenére a kockázat meglehetősen alacsony. Az egyéb plazmarendszerekhez hasonlóan a gázok mennyisége sokkal kevesebb, mint ami az égetőművekben megszokott. Számításokkal meghatározták, hogy a pl. a nagy szennyezettségű hexaklóretán-tartalmú hulladék kezelése esetén a keletkezett gázmennyiség csak 2%-a annak, ami egy égetőműben keletkezne, ugyanolyan kapacitás esetén. A szekunder fűtés gázai természetesen hozzáadónak a hulladék gázaihoz.

Feltéve, hogy a rendszer pirolitikus módon és redukáló körülmények között üzemel, a primer kamrában keletkező dioxinokat el kell távolítani. A kezelt talaj és egyéb szilárd anyagai hamuvá, majd olvadt üveggé alakulnak.

A PACT-eljárást úgy kell tekinteni, mint aminek relatíve magas a tőkeigénye és működési költsége (4000 - 8000 USD/t). Ezzel együtt ismeretes, hogy a fajlagos költség a kezelt

mennyiségektől is függ, és mivel az eljárás közvetlenül is használhat fel anyagokat, megtakarítható az előkezelés költsége, mely más eljárásoknál viszont szükséges.

### **PLASCON-eljárás**

A PLASCON-eljárást az ausztrál CSIRO kutatóintézet fejlesztette ki. Az eljárást arra szánták, hogy a vegyipari hulladékait nagyhőmérsékletű plazmabontásos módszerekkel kezelje. Az eljárás kifejlesztett változata kereskedelmi méretekben üzemel [22].

Az eljárás lényege, hogy a folyékony, vagy gáz halmazállapotú hulladékot argonnal együtt a plazmaívbe injektálja mely az anyagkeveréket 3000 °C fölé hevíti. Ezen a hőmérsékleten a szerves anyag pirolizálódik. Ennek során a szerves vegyület atomokra és ionokra disszociál, majd a reakciókamra hidegebb részein rekombinálódva egyszerű vegyületeket képez.

A gáznemű végtermék argonból, szén-dioxidból és vízgőzből, valamint nátriumsókat tartalmazó vizes oldatból áll, mely utóbbiakban NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> és NaF a fő vegyület. A végtermékek további kezelése nem szükséges.

Egy 150 kW teljesítményű egységgel 1-3 t/nap mennyiségű hulladék kezelhető. A reakciókamrában való tartózkodási idő rendkívül kicsi, mintegy 20-50 millisekundum. Ezen adatok alapján adódik, hogy minden másodpercre 40 g kezelt anyag jut.

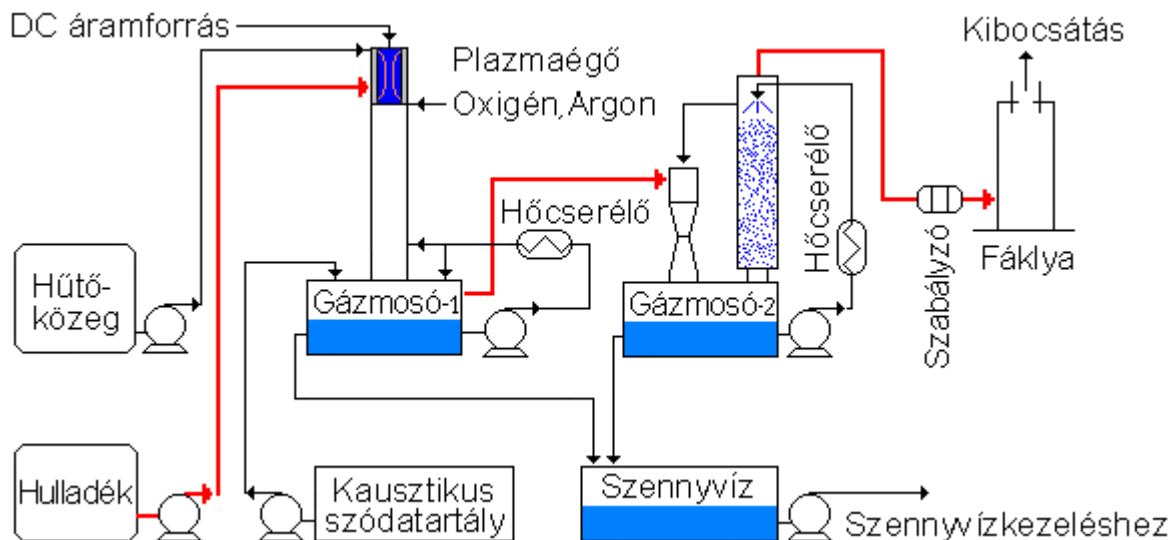
Az eljáráshoz szükséges fő energiaforrás az elektromos energia. A 150 kWh teljesítményű PLASCON reaktor üzemeltetése 1000-3000 kWh energiát igényel a hulladék tonnájára számítva, melyhez még hozzá kell számítani 250-400 kW hűtési veszteséget. A hűtést zártkörű vízkeringtetéssel valósítják meg.

Az eljárást a robotsztus jelzővel illetik, ami viszont könnyen applikálható különleges feladatokra is. A berendezés front- és hátoldalát olyanra tervezték, hogy a különleges hulladékok fogadására is alkalmas legyen.

A felhasznált hulladékok folyékony vagy gázneműek lehetnek, illetve mindazok, melyek erre az állapotra átalakíthatók. Például a szennyezett talaj vagy a nagyon viszkózus folyadék, illetve iszap nem dolgozható fel előkezelés nélkül.

Fentiek miatt a fejlesztők egy SRL típusú plazmaégetőt választottak. Ezekben az esetekben a plazmaégetőt a technológiai adottságokhoz igazítva kell megépíteni.

Fentiek okán a PLASCON-rendszer kivitelét tekintve inkább egy szétszedhetőre és újratelepíthetőnek tervezett rendszer, mintsem egy mobilnak mondható állomás. Az eljárás vázlatát az 4. ábra mutatja.



6.2.3.4. A PLASCON-eljárás sémája

#### *Az eljárás előnyei*

Az eljárás tesztelésére PCB-tartalmú klórozott szénhidrogénnel végeztek kísérleteket. Ennek során a mosóvízben és a távozó füstgázokban mérték a dioxintartalmat.

#### *Az eljárás alkalmazhatósága*

Az eljárásra jellemző, hogy a képződött gázok nagyságrendekkel kisebb, mint ahogy az az égetőművekben megszokott, ennél fogva kisebb az a kockázat is, mely kibocsátást feltételez. Ennek értékeléséhez tudni kell, hogy a reakciókamrába levő dioxin mennyisége csak 1 gramm.

A szignifikánsan kis kibocsátások jellemzők a plazmakezelői rendszerekre, és össze sem hasonlíthatók a lakótelepi szilárd hulladékok égetésére jellemző szintekkel.

A PLASCON-rendszerű kezelőrendszer jól csatlakozhat más pl. termikus deszorpciót megvalósító kezelőrendszerekhez, melyekkel már elérhető a szilárd és a félszilárd hulladékok teljes elbontása.

#### *Eredmények*

A kísérleti PLASCON berendezéssel az alábbi anyagokat tesztelték: halon 1211, CFC 11, CFC 12, HCFC 22, askarel (65% PCB, 35% trichlorobenzene), Nufarm hulladék (40% chlorfenol, 40% chloropentoxi-acetates és 20% toluene).

Ipari viszonyok között a PLASCON rendszer jelenleg Ausztráliában, Viktória államban, Nufarm községben üzemel 1992 óta, ahol herbicidgyártó üzem működik. Az ide telepített rendszer 150 kW-os teljesítményű, amellyel egy kisteljesítményű gyár hulladékait kezelik. A jellemző hulladékok 30 m/m% klórtartalmúak. A második, 200 kW-os elektromos teljesítményű PLASCON üzem a megnövekedett kapacitási igény miatt telepítik. A tervezett üzem folyamatos, vagy félfolyamatos jellegű lesz.

Az új berendezéssel tárolt ózonlebontó halon és CFC és hulladékok kezelését kívánják végezni kétműszakos üzemmódban. Egy másik államban, Nyugat-Ausztráliában már

folyamatban van egy 3. egység telepítése, ahol PCB-tartalmú hulladékok kezelésére kívánják felhasználni.

#### *Alkalmazható hulladékok köre*

Elsősorban szerves, vagy vizes alapú folyékony hulladékok kezelésére alkalmas, bármilyen koncentrációban, de gazdaságosabb a tömény anyagok kezelése. A szilárd anyagokat jól szivattyúzható iszapokká kell átalakítani. Az olyan különleges hulladékok, mint a kondenzátorok és a transzformátorok, a szilárd anyagok eltávolítását célzó előkezelés után alkalmazható. Az eljárás működtetési költségei, beleértve az élömunka kiadásait is, a kezelt anyamennyiség és minőség függvényében változnak, melyhez még hozzá kell adni a helyszíni adottságok költségeit is. Ezek a költségek kisebbek a kb. 3000 USD/t értéknél és általában az 1500- 2000 USD/t érték körül mozognak. A tapasztalatok szerint a költségek jelentős része az alábbi faktorokból áll:

- hulladék tömege és szerkezete,
- elektromossági költségek,
- argon- és oxigénköltség,
- földrajzi fekvéstől és jellemző helyi viszonyoktól függő költségtényezők,
- kausztikus szóda költségei,
- az elérendő emissziós határértékek nagysága.

Jellemző a folyamatra, hogy a kezelt hulladéokra vonatkozó költség nem korrelál a hulladék klórtartalmával. Az eljárás erényei között kimagaslik annak rugalmassága. Az elektromos rendszer jól vezérelhető, néhány másodperc alatt leállítható, vagy újraindítható. A dioxinképződést a pirolizáló rendszer vezérlésével teljesen meg lehet szüntetni. A rendszerben előforduló kibocsátási problémák csak az alapanyagok tárolásánál léphetnek fel. A rendszer általános korlátait az jelenti, hogy csak gázokra és folyadékokra alkalmazható.

A CSIRO és SRL által kifejlesztett PLASCON eljárás (1990, Ausztrália) volfrám katóddal és argon gázzal üzemel. Jelenleg 10 ilyen típusú üzem működik Ausztráliában, Japánban, USA-ban és Mexikóban, amelyek *halont*, *CFC-t*, *HFC-t (hidrofluorcarbon)*, *rovarirtó- gyomirtó szereket és PCB-t* dolgoz fel [].

Általában a folyadék és gáz halmazállapotú hulladékok plazma eljárással történő kezelése során nem jutunk értékes melléktermékhez.



## 6.2.3.4. SZILÁRD HULLADÉKKEZELÉSI PLAZMA-TECHNOLÓGIÁK

### 6.2.3.4.1. AUTÓ SHREDDER MARADÉK FELDOLGOZÁSA

Két típusú nem áthúzott íves reaktort használnak a gyakorlatban: 1) a **Westinghouse** által kifejlesztett plazma tüzelésű aknakemence és 2) az a reaktor, amiben a hulladékot közvetlenül a plazma sugár hevíti fel - **Europlasma** találmánya.

A **Westinghouse**-féle módszerre legjobb példa a Japánban (Utashinai-Hitachi Metals Corp.) üzemelő **autó shredder maradék**ának feldolgozására használt 2 kemencével üzemelő rendszer, amelynek a napi kapacitása 165 t, de ugyanakkor képes 300 t/h **települési szilárd hulladék** feldolgozására is.

Négy egyenként 300 kW teljesítményű plazmafáklya szolgál az aknakemence levegőjének hevítésére. A levegő egy része a kokszt mennyiségének csökkentésére fordítódik. A folyamat során kalcináló adalék hozzáadásával lehetőség nyílik építési célra alkalmas kerámia előállítására. A füstgáz nagy mennyiségű szénmonoxidot és hidrogént tartalmaz. Ezen gázok egy ún. második reakciókamrában történő elégetésével gőz előállításához szükséges hőt termelhetünk, amely meghajt egy turbinát. Az így előállított energia 8 MW, amelynek kevesebb mint a fele az üzemben felhasználható, és a fennmaradó rész pedig az elektromos hálózatba vezethető. A hulladékkezelés energiaigénye 100...250 kWh/t [7,8].

### 6.2.3.4.2 ÉGETŐMŰVEK ÉS ERŐMŰVEK MARADÉKANYAGÁNAK KEZELÉSE

Az Europlasma nem áthúzott íves plazmafáklyás reaktorokat használ az **égetőművek maradék**ának a tömörítéséhez. Jó példa erre a Cenonban (Franciaországban) működő reaktor, amely 10 t/nap pernye feldolgozóképeséssel és 1300 kWh/t fajlagos energiafelhasználással dolgozik egy 500 kW-os plazmafáklyával, levegő közegben [9].

Ezen kívül számos nagyobb kapacitású Europlasma fejlesztésű reaktor üzemel Japánban, pl. shimonoseki-i üzemben, ahol egy kétfáklyás (2x1,3 MW) reaktor napi 42 t salakot és pernyét dolgoz fel. A fajlagos elektromos munkaigény 800 kWh/t. Karbantartási igényük éveken át mindössze 1/300 óra volt.

A hagyományos hulladékégetés során 1 t **kommunális hulladék elégetésekor** 30-50 kg **pernye** képződik. Ebben koncentrálódik a hulladékban levő higany 25 %-a, a kadmium 90 %-a, az ólom 40 %-a, valamint a cink 50 %-a. Mindezek kioldódása nagy környezetvédelmi problémát jelentenek. Éppen ezért a nyugat-európai országokban a pernyét csak úgy lehet deponálni, ha a fémtartalom kioldását csökkentő előkezelésnek vetik alá. Franciaországban pl. 1 tonna égetőműi pernye 430 USD (1995-ös adat) kezeléssel rakható le [4].

### VitroArc-eljárás

A VitroArc egy *erőműi hulladékok* üvegesítő stabilizálására és ártalmatlanítására kifejlesztett eljárás [19]. Az eljárás révén a poros anyagok stabil, nem oldódó ásványi anyaggá, salakká alakulnak át.

A pernye az olvasztózónában lép be a folyamatba, ahol az összes mérgező szerves anyag gázzá alakul vagy elbomlik. Az olyan illékony szervesanyagok, mint a cink és az ólom elpárolog, a maradék egy részt viszont megolvad. Az olvasztózónába a plazmagenerátor juttatja a földgáz fosszilis energiáját.

A megolvastott szervesanyag a reaktor medencéjében gyűlik össze, ahonnan folyamatosan lecsapolják egy szifonrendszeren keresztül. Az oxid állapotban levő cink és ólom a gáztisztító rendszerben nyerhető ki.

A hulladékégetők egyre növekvő salakhányói fokozott problémát jelentenek az egész világon.

Ma sok hulladék-égetőmű működik a világon. Az égetési folyamat jellemzője, hogy korlátozott mértékben bocsát ki szennyező anyagokat a légkörbe, viszont az égetési maradékokban a hulladék számos káros összetevője dúsulva található meg. A szennyezők a salak és a pernye között oszlanak meg, és akár a kezelt hulladék 20 %-át is kitehetik. Különösen a pernye az, ami sok olyan káros anyagot tartalmaz, mint pl. a dioxinok és a nehézfémek.

Ezeknek a mérgező és veszélyes anyagoknak a környezetszennyező hatásainak kiküszöbölésére számos ország olyan rendeleteket hozott, melyek tiltják az ilyen eredetű kezeletlen hulladékoknak a lerakását.

A pernyének cementtel való eddigi stabilizálása nem volt sikeres és általában a környezetvédelmi felügyelőség nem fogadja el megfelelő megoldásként. Mindezek az események azt vetítik előre, hogy a jövőben egyre nagyobb súlyt fognak fektetni a hulladékok hasznosítására, és egyidejűleg igyekeznek elkerülni a további szennyezést.

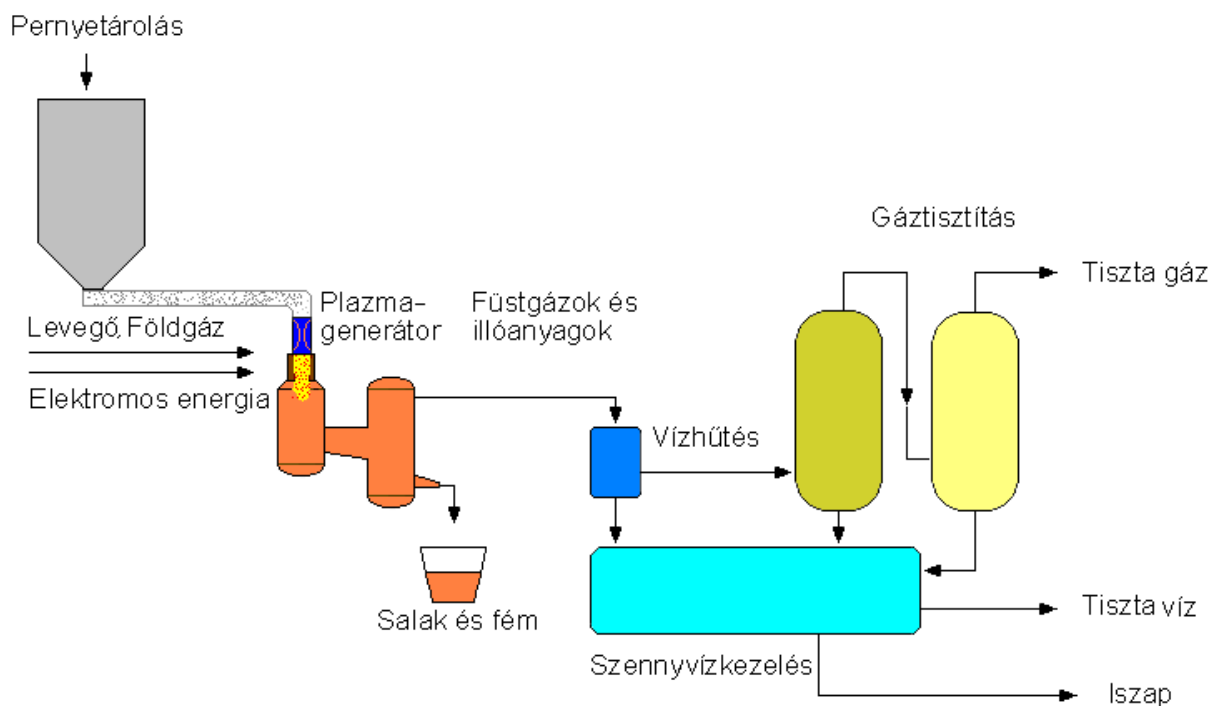
A VitroArc-eljárással a pernyét üvegesített, fekete színű salakszerű anyaggá alakítják át, mely stabil és nem oldódik. A veszélyes fémeket - melyeket az eljárás során elpárologtattak, - visszanyerik, míg az üveges salak számos helyen hasznosítható. Az eljárást egy 1 t/h kapacitású kísérleti üzemben tesztelték. A tájékoztatás megírásáig több mint 400 t anyagot kezeltek.

A VitroArc-eljárással a pernye bármilyen káros szerves vegyületeit teljesen elbontják, és a rendszerből eltávolítják. Az 1. ábrán láthatjuk a létesítmény fő részeit:

- Anyag előkészítés, mely tartalmazza a tároló és befúvató rendszert.
- Termikus kezelő rész, melynek része az egyedüli plazmagenerátor rendszer.
- Levegőtisztaság-védelem, melynek része a gáztisztítás és a szennyvízkezelés.

A pernyét pneumatikus úton juttatják a plazmafűtésű reaktorba. A pernye illóanyagai (klór, kén, és részben a cink és az ólom) gőzfázisba kerülnek, a maradékanyag fekete színű üvegesített salakfázisba kerül, mely talajvízben és esővízben nem oldódik.

Az olvasztáshoz és az elpárologtatáshoz szükséges energiát a plazmaégőbe vezetett elektromos energia és a parciális égéssel felszabaduló hő biztosítja. Az eljárás egyedi jellegét a plazmagenerátor biztosítja, melyet már több mint 15 éve használ a kohászat.



6.2.3.5. ábra. A Vitroarc-eljárás sémája

A plazmaégő előtti, hozzávetőleg 1400 °C-os térben számos reakció játszódik le:

- A klór, szulfátok karbonátok és részben az alkálifémek elgázosítása.
- A cink és az ólom redukciója és elpárologtatása.
- A szerves vegyületek bomlása és parciális égése.
- Az erőműi pernye maradék oxidos részének elüvegesítése.

A pernyének a reakciózónában való tartózkodási ideje kb. 1 másodperc, melyet követően a gáz és a salakfázis egymástól elválik. Az üvegesített salak folyamatos szifonos csapolás révén hagyja el a reaktort. A nehézfémek többsége a pernye felhevítése alatt párolog el.

A vegyi összetételt és az oldhatóságot a CaO és SiO<sub>2</sub> aránya valamint az Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-tartalom határozza meg. Befolyásolja még a kioldódását az atmoszféra jellege, vagyis az, hogy az üvegesítés oxidáló vagy redukáló körülmények között történt-e. Az alumínium-oxid módosítja a salak mechanikai tulajdonságait is, ellenállóbbá teszi a salakot a vegyi behatásokkal szemben. Az olyan alkotóknak, mint a Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CaO és MgO modifikáló szerepük van és csökkentik az üvegesítés hőmérsékletét. A legtöbb pernye elegendő SiO<sub>2</sub> és Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> anyagot tartalmaz az üvegesítéshez. A cink- és ólomtartalom nagy részének elpárologtatásához és a NO<sub>x</sub>-tartalom 50 ppm alá való csökkentéséhez a CO-tartalmat csak 20-30 %-ban lehet feloxidálni CO<sub>2</sub>-vé. A reaktorba fűjt levegő az, ami elvégzi a CO CO<sub>2</sub>-vé és a H<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O-vá való oxidációját, mielőtt azok eltávoznának.

A reaktorból távozó gázt vízzel hűtik, majd egy venturi-mosóban leválasztják belőle a szilárd részecskéket és a savas alkotórészeket. A tisztított gáz kb. egyenlő arányban tartalmaz CO, CO<sub>2</sub> és H<sub>2</sub> alkotórészeket.

A gázszennyezők java részét a vizes leválasztással vonják ki. Az iszap jelentős részben cinket és ólomot tartalmaz, mely a fémkohászati vállalatoknak értékesíthető. A vízben oldódó alkálisók koncentrációja után leválaszthatók és értékesíthetők.

### Termékek

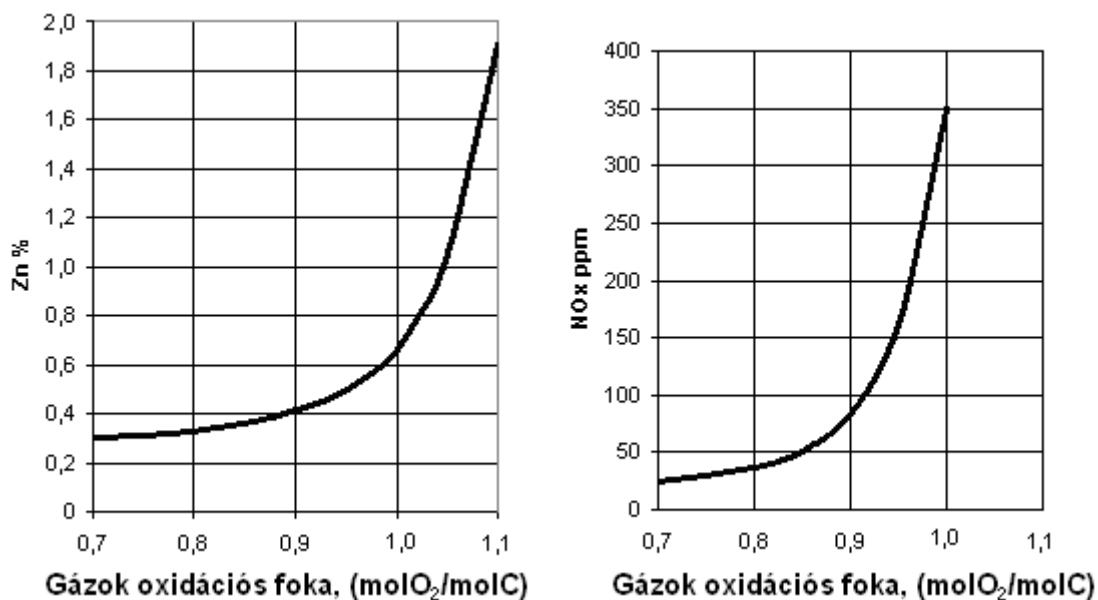
Az üvegesítő olvasztás termékei az alábbiak:

- Mintegy 600 kg üvegesített, stabilizált, nem oldódó salak, a pernye 1 tonnájára vonatkozóan. Az ólom- és cinktartalom jellemzően 0,04 %, ill. 0,40 % alatt tartható, mely érték főleg a gázok oxidációs fokától függ.
- A leválasztott iszap főleg fémhidroxidokat tartalmaz. A cink- és ólomtartalom értéke hozzávetőleg 50 %, mely előnyösen értékesíthető.
- A szennyvíz tisztításából főleg NaCl és KCl vegyületeket nyernek ki.

### Vizsgálati eredmények

Az elgondolás helyességének ellenőrzésére és az eredmények tesztelésére egy 1 t/h kapacitású kísérleti üzemot építettek Svédországban. Egy intenzív kísérleti program szerint 400 t pernyét kezeltek. Az adatok alapján megállapítást nyert, hogy az üvegesítési technológia energiafogyasztása mintegy 1000 kWh a pernyére vonatkoztatva, amihez még hozzá kell számítani 40 kg szén vagy szénhidrogén pótlékot, mellyel az NO<sub>x</sub> és a nehézfém-tartalom szabályozását végzik.

A számos eredmény lehetőséget adott arra, hogy értékeljék a nehézfémeknek a salakból való eltávolíthatóságát meghatározó tényezőket. Ebben döntő szerepet játszik az ábra szerint az atmoszféra oxidációs foka.



6.2.3.6. ábra. Az üvegesített salak Zn-tartalma, valamint a füstgázok NO<sub>x</sub>-tartalma a gázok oxidációs fokának függvényében

### *Kioldódási vizsgálatok*

A salak környezeti alkalmasságát a legszigorúbb tesztvizsgálatoknak vetették alá. A táblázat eredményei szerint, a kénsavban való oldással igazolva a kezelt salak bőven megfelel az előírásoknak.

1. táblázat. A PyroArc és a VitroArc eljárások kioldási eredményei a CEN TC298 vizsgálat szerint (mg/kg)

<b>Elem</b>	<b>PyroArc salak</b>	<b>Vitroarc salak</b>	<b>Holland lista határérték</b>
<b>As</b>	<b>0,01</b>	<b>0,0</b>	<b>0,3</b>
		<b>8</b>	
<b>Ba</b>	<b>0,7</b>	<b>0,3</b>	<b>4</b>
<b>Cd</b>	<b>0,02</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>
		<b>02</b>	
<b>Co</b>	<b>0,01</b>	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>
		<b>1</b>	
<b>Cr</b>	<b>0,02</b>	<b>0,0</b>	<b>1</b>
		<b>2</b>	
<b>Cu</b>	<b>0,06</b>	<b>0,1</b>	<b>0,35</b>
		<b>2</b>	
<b>Ni</b>	<b>0,02</b>	<b>0,1</b>	<b>0,35</b>
<b>Pb</b>	<b>0,008</b>	<b>0,0</b>	<b>0,8</b>
		<b>6</b>	
<b>V</b>	<b>0,05</b>	<b>0,0</b>	<b>0,7</b>
		<b>08</b>	
<b>Zn</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>1,4</b>
		<b>2</b>	

A fenti minták eredményeit az ún. holland lista nem szigorú határértékeivel hasonlítottuk össze, mely az építési anyagokra vonatkozik. A megfelelő adatokat zöld betű mutatja, míg a nem megfelelő kioldási értékek színe piros.

### *Az üzem telepítése*

Az erőműi salakok üvegesítésére létesített VitroArc üzemet vagy egy már meglévő erőműbe érdemes telepíteni, vagy különálló módon melyhez ki kell építeni a teljes gáz- és szennyvíztisztító rendszert. Az üzem az alábbi fő egységekből áll:

- Tároló és adagoló rendszer,
- VitroArc üvegesítő reaktor,

- Gáz- és szennyvíztisztító rendszer.

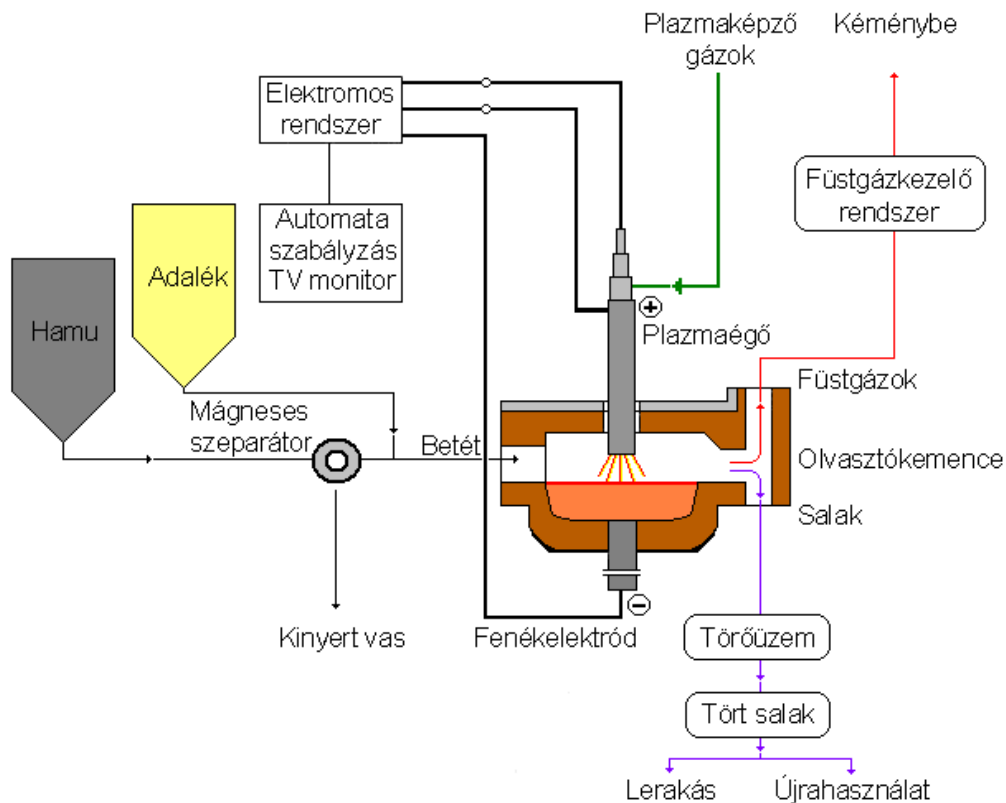
Az üzemnek egy már meglévő erőműbe való telepítése lényeges megtakarításokkal jár, mivel megtakarítható a szükséges gáz- és szennyvízkezelő rendszer. Amennyiben a keletkezett gázt mint kiegészítő tüzelőanyagot a reaktorban hasznosítani akarjuk, akkor a vizes hűtő és egy egyszerű nedves mosó is elegendő a VitroArc üzembe. Ebben az esetben a végleges gáztisztítás az erőmű füstgáztisztító rendszerében történik.

Ezen túlmenően, ha a létező üzemben olyan nedves gáztisztítás van, mely alkalmas a sók leválasztására, akkor már csak egy kicsapató és leválasztó egységre van szükség, mely leválasztja a cinkvegyületeket. A további szükséges szennyvízkezelés az erőmű meglévő rendszerében az addigiakhoz hasonló módon történik .

### 5.2.2 Égetőműi hamu kezelése a Kawasaki Steel technológiával

Japánban a Kawasaki Steel Ltd. és társai az **erőműi hamuk** térfogatcsökkentésére és hasznosítására a fentiekén túl kifejlesztették az égetőműi hamuk olvasztására szolgáló plazmaolvasztó eljárást. Az eljárás jelenleg demonstrációs fejlettségű szakaszban van [23].

Az eljárás lényege a plazmagázokkal való ívképzés. A stabil plazma akkor alakul ki, amikor a plazmaív a fenékelektrod jelenléte miatt vezetővé válik. A plazmaív közepén a hőmérséklet mintegy 20 000 – 30 000 °C. Az ilyen nagy hőmérséklet hatására könnyedén megolvad a kb. 1200 °C olvadáspontú betétanyag.



6.2.3.7. ábra. Égetőműi hamu olvasztására szolgáló plazmakemencés olvasztó eljárás

*Az eljárás célkitűzései*

- Az erőműi hamu ártalmatlanítása és térfogatának csökkentése. Ennek keretében nagyhőmérsékletű plazmaívvel olvasztják meg a hamut, mely elsalakul, üvegessé válik, melynek révén megakadályozza a nehézfémek kioldódását. Ezzel párhuzamosan lecsökken az anyag térfogata mintegy harmadára csökken, lassú hűtés alkalmazása esetéhez képest, és mintegy a felére, a vízsugárral való hűtéshez képest.
- Tiszta energia kinyerése. A rendszer hatékonyan hasznosítja az erőműi égetőműben keletkezett villamos energiát, mely zöld jellegű (nem kibányászott energiahordozón alapul) és nagyon gazdaságos a fosszilis energiahordozókhoz képest.
- Kompakt jelleg
- Hosszú elektróda élettartam,
- Könnyű kezelhetőség.

### *Kapacitás*

A Chiba Citybe tervezett demonstrációs üzem 1994-ben készült el és jelenleg többféle kapacitásban, 20 tól 100 t/nap méreteken áll rendelkezésre, azaz széles skálán elégheti ki a vevőket.

### *Alkalmazási területek*

A berendezés alkalmas a lakótelepi szilárd hulladékok kezelésére, házi szennyvíz-tisztítóműi iszapok feldolgozására, atomerőműi hulladékok kezelésére is.

A Kawasaki Acélkutató Intézetben telepített kísérleti berendezés az alábbi adatokkal rendelkezik: kapacitás: 200 kg/h, plazmaégó teljesítménye: 250 kW.

A Kitayazu Égetőműben található Plazmás Olvasztó Központban (Chiba város) található berendezés adatai: kapacitás 1000 kg/h, plazmaégó teljesítménye: 1000 kW.

### Pernye kezelése áthúzott íves plazma reaktorral

Az angol Tetronics cég 2 különböző típusú áthúzott íves plazma reaktorral rendelkezik: 1) egyfáklyás reaktor és 2) kétfáklyás reaktor.

- 1) Az egyfáklyás reaktorokban az ív az elektróda (ami általában a katód, és lehet vízhűtéses fém vagy grafit) és az olvadék között jön létre. A plazma gáz argon vagy nitrogén szokott lenni. Legjellemzőbb alkalmazási területe az *égetőműi pernye vitrifikálása*, amely célra számos üzem működik Japán területén. Ezek teljesítménye fém katód esetében 200...1200 kW tartományban változik és grafit katód esetében pedig a felső határ elérheti akár a 2,75 MW-ot is ( $I=9800$  A). A kapacitás 200...5800 kg/h között változhat.
- 2) A kétfáklyás reaktor úgy működik, hogy az egyik fáklya anódként, a másik pedig katódként szolgál. Az elektróda itt is grafit vagy vízhűtésű fém lehet. Ez a változat képes nem áthúzott íves üzemmódban is működni. Egy 250 kW teljesítményű

kétfázisú reaktor kb. 50 kg/h salak kezelését tudja megvalósítani 550 kWh/t fajlagos energiaigény mellett. A kioldási vizsgálatok bizonyítják, hogy a nehézfémek kioldódási aránya jóval az előírásokban megadott szint alatt vannak. Nagyobb teljesítményű egységek is üzemelnek - akár 2800 kW-osak – amelyek 3300 kg/h *pernyét* képesek feldolgozni.

Bár e módszer leginkább a pernyék feldolgozására jellemző, *szennyvíziszap, égetőműi pernye, szilárd kórházi hulladék és alacsony radioaktivitású hulladékok* kezelésére is megoldást nyújt – 480 kW és 70 kg/h mellett [15].

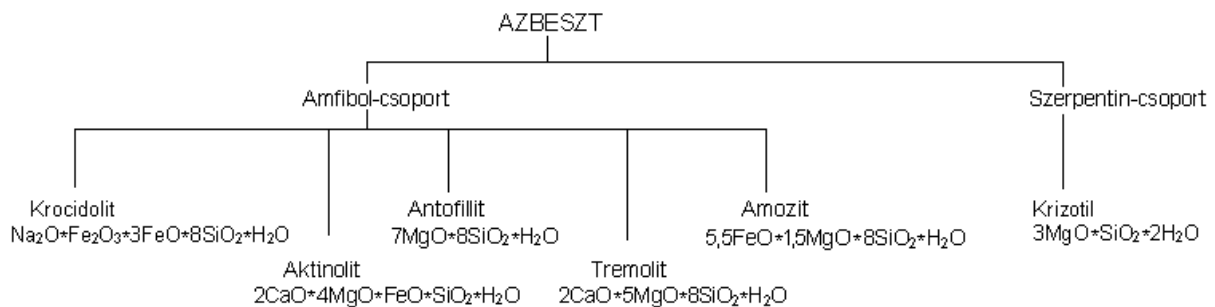
Ennek a változatnak megvan az az előnye is, hogy egy homogénebb eloszlású hőterhelésre képes az olvadékkal szemben, ezáltal elkerülhetjük a fémek komponensek evaporációját és a finom szemcseméretű részek keletkezését.

#### AZBESZT HULLADÉK ÁRTALMATLANÍTÁSA

Az azbeszt a természetben gyakran előforduló szilikátásvány, amely korábban hallatlan népszerűségét szinte egyedülálló fizikai és kémiai tulajdonságainak köszönheti. Könnyen megmunkálható, szálas szerkezete révén szőhető, nemezelhető, éghetetlen, vegyszerálló, csekély a villamos és a hővezető képessége, rugalmas, jó a nyírószilárdsága.

A természetben az azbeszt tú alakú kristályokból felépülő hajlékony kötegeket alkot, melynek változó kémiai összetétele, kristályvíz-tartalma van.

Előfordulása, szerkezete és fizikai, kémiai tulajdonságai szempontjából két nagy csoportját különböztetjük meg: szerpentinek és amfibólok. Az azbesztásványok kémiai összetételük, szálszerkezetük és az emberi egészségre gyakorolt hatásai szempontjából különböző csoportokra sorolhatók. Egyfelől használatosak az amfibol-azbesztek, ahova a krocidolit és az amozit tartozik, másfelől közismertek a szerpentin kőzet kristályos kőzet alakjaként előforduló krizotil-azbesztek. Ezt mutatja a xx. ábra.



6.2.3.8. ábra. A leggyakoribb azbesztásványok csoportosítása





6.2.3.9. ábra. A barnaazbeszt, a kékazbeszt és a fehérzbeszt ásványok makroszkópikus képe

Figyelemre méltó- és az egészségkárosító hatás szempontjából meghatározó- tulajdonságuk, hogy szálaik hajlamosak a hosszanti hasadásra egészen az elemi szálakig (~0,00002 mm átmérő). Ez különösen a krokidolitra jellemző, így ez a fajta tekinthető a legveszélyesebbnek.

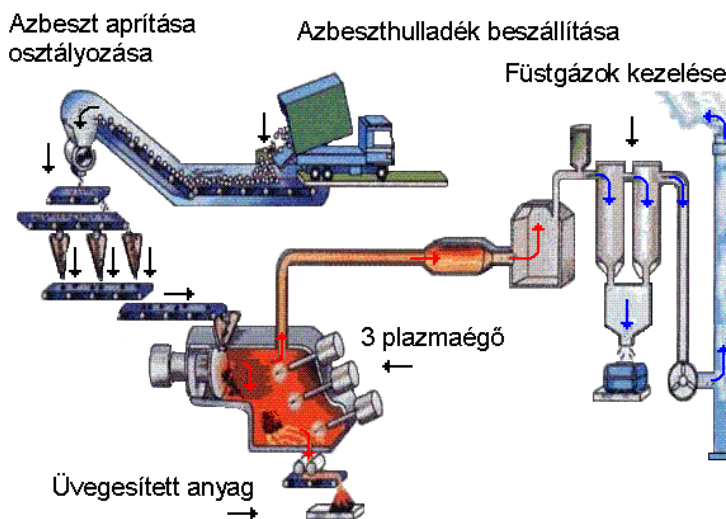
Jelenleg hazai hasznosításuk nem, csak ártalmatlanításuk ismert. A jelenlegi jogszabályozás szerint Magyarországon az azbeszttartalmú termékeket tartalmazó épületeket különleges gonddal kell elbontani és hulladéklerakóba kell szállítani.



6.2.3.10. ábra. Az azbeszt tipikus építőipari felhasználási területei

Az általános óvatosság mellett, egyes fejlett országok – elsőként Franciaország – kidolgozták az azbeszthulladékok termikus ártalmatlanítással egybekötött hasznosítását. A feladatot az EUROPLASMA cég oldotta meg mely azóta hasonló módon üvegesíti a pernyehulladékokat is [25].

A kereskedelmi nagyságrendben üzemelő *Inertam-eljárás* sémáját az 11. ábra mutatja. A tehergépkocsikon zsákos csomagolásban beszállított azbeszthulladék szállítószalagon és surrantókon keresztül kerül a plazmatüzelésű olvasztókemencébe.



6.2.3.11. ábra. Az Inertam-eljárás sémája

Az azbeszt káros hatása nem anyagi összetételében, hanem fizikai (megjelenési) formájában keresendő, ezért a kezeléssel elsősorban az anyagi szerkezetet kell átalakítani. A legfontosabb fizikai tulajdonságokat az 2. táblázat mutatja.

6.2.3.2. táblázat. A különféle azbesztásványok fizikai tulajdonságai

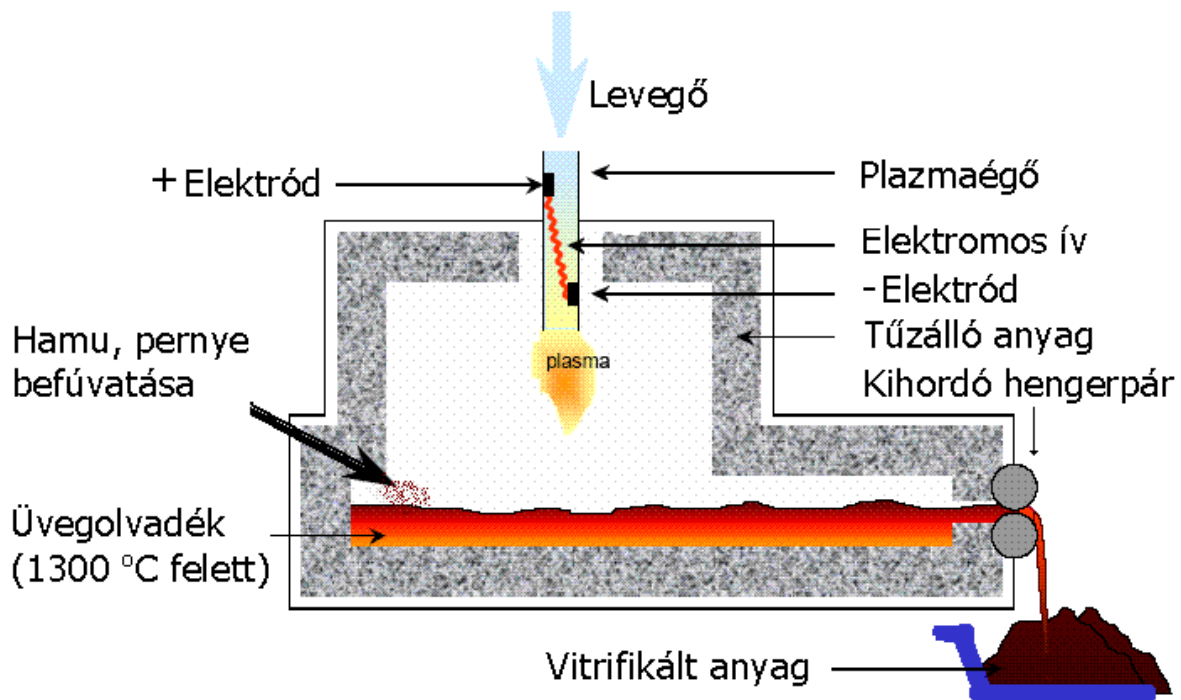
<b>Tulajdonság/név</b>	<b>Krizotil</b>	<b>Aktinolit</b>	<b>Tremolit</b>	<b>Antofillit</b>	<b>Amozit</b>	<b>Krocidolit</b>
<b>Csoport</b>	szerpentin	amfibol	amfibol	amfibol	amfibol	amfibol
<b>Szín</b>	fehér	zöldes	fehéres	fehéres	barna	kék
<b>Sűrűség*</b>	2,5-2,6	3,0-3,2	2,9-3,2	2,9-3,3	3,1-3,5	3,0-3,4
<b>Savállóság</b>	mérsékelt	nagyon jó	jó	közepes	jó	jó
<b>Olvasáspont**</b>	1520	1390	1360	1470	1400	1190
<b>Hajlíthatóság</b>	nagyon jó	törékeny	törékeny	törékeny	közepes	jó

\* - g/cm<sup>3</sup>,      \*\* - °C

A nagyhőmérsékletű plazma hatására az azbeszt anyaga gyorsan felhevül, közben elveszti kristályvíztartalmát, majd szinterelődik és megolvad, mellyel kristályszerkezete teljes mennyiségben szilikátolvadékká alakul át. A szilikátolvadék vegyi összetételét más szilikátos hulladékok vagy szándékosan beadagolt salakképzők hatására még módosulhat. A technológia során lehűlt szilikátolvadék már nem tud az eredeti szálas formában kristályosodni, ezért a megszilárdult anyag gyakorlatilag, mint üveges Mg-szilikát formában nyerhető ki. A gyártás során végzett pótlékadagolások elvégzésének célja a szilikátos olvadék viszkozitásának, sűrűségének és a belőle képződő termék nyomó-, törő-, ejtőszilárdságának kedvező irányú befolyásolása. Amennyiben az azbeszthulladékkal nehézfém-tartalmú egyéb hulladék is a rendszerbe kerül, akkor külön szempontként kell kezelni a nehézfém-kioldódás határérték alá való csökkentését, melynek egyik módja a salak bázikusságának megadott értékek alatti tartása. A kapott termék, a természetes ásványokhoz hasonlóan viselkedik és építőipari célokra jól hasznosítható. A kialakított olvasztóegység adatai az alábbiak.

- Feldolgozó kapacitás: 22 t/nap, vagyis 8000 t/év.
- Alapanyagok: ipari alkalmazású azbeszttartalmú hulladékok, szálas azbeszt.
- Üzem mód: 7 munkanap/hét, azaz 24 h/nap.

Ugyanitt időközben végezték a pernyék üvegesítő olvasztását. A pernyét oldalról egy kádkemencébe injektálják, miközben boltozati plazmaégővel olvasztják meg a betétanyagot. Az olvasztás során egyébként a dioxin- és a furán vegyületek teljesen lebomlanak és az esetlegesen jelenlevő nehézfémek pedig hatékonyan befoglalásra kerülnek. Az olvasztott szilikátolvadékokat tálba csapolják, vagy hengerpárral távolítják el. A kapott termék nem veszélyes hulladék, előnyösen útalapba lehet elhelyezni.



6.2.3.12. ábra. Pernyeolvasztó plazmás kemence



6.2.3.13. ábra. Az üvegtermék eltávolítása hengerpárral vagy csapolással történik

Az Europlasma kidolgozott egy technológiát **azbeszt hulladék** feldolgozására (Inertam üzem) St. Denis-ben, Franciaországban (1300 kWh/t, 20 t/nap). Az eljárás során keletkezett vitrifikált terméket útépítésben hasznosítják [9,10].

### TALAJTISZTÍTÁS

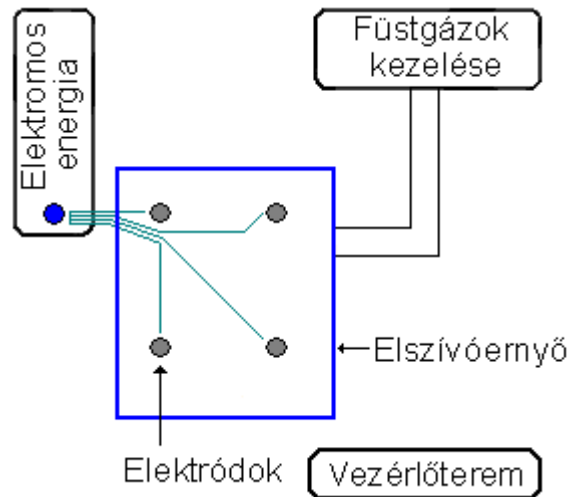
#### In situ plazma vitrifikáció

Ez egy olyan új eljárás, melynek révén a **talajszennyezőket** azok kitermelése nélkül, helyben **ártalmatlanítják** úgy, hogy ívfénnyel vagy Joule hővel átmenetileg megolvasztják a szennyezett talajt, melynek révén a szennyező a kialakuló üvegfázisba kerül és a továbbiakban radikálisan lecsökken a szennyezőanyag kioldhatósága. A kifejezésben az *in situ* jelentése *helyszínen végzett*, a vitrifikáció pedig bármilyen *üvegesítést* jelent [20,21].

#### Az in situ vitrifikáció folyamatai

Az *in situ vitrifikáció* és az *in situ plazma vitrifikáció* (ISPV) eljárások első részét a szennyezőanyag minőségének meghatározása képezi, hogy milyen minőségű a szennyezőanyag a talajban. A minőség meghatározása után döntés következik a kivitelezésről.

A *in situ* vitrifikációs módszer 4 db nagyméretű grafitelektródát használ, melyet négyzetalakban rendeznek el. A terepet energiaellátó rendszer, az elektromos ívek képző grafitelektródok és gázelszívó rendszer képezi. Az elszívott gázokat tisztítják, a folyamatok összehangolását egy vezérlőteremből irányítják.



6.2.3.14. ábra. Az *in situ* vitrifikációs talajkezelés terepi elrendezése felülnézetben

Az üvegesítés mélységét a grafitelektródok hossza és a rendelkezésre álló energia határozza meg. A szükséges villamos energiát vagy villamos aggregátor biztosítja, vagy a hálózatról vételezik. Az elektromos ív az egyes elektródok között alakul ki. Amint az elektromos áram áthatol a talajon, nagy hő képződik. A képződött hő hatására a talaj megolvad és csökken a térfogata. Az olvadó talajba a hő hatására egyre jobban belemélyednek az elektródák.

Amint a grafitelektróda eléri a lehető legmélyebb pontot, az áramot lekapcsolják a rendszerről.

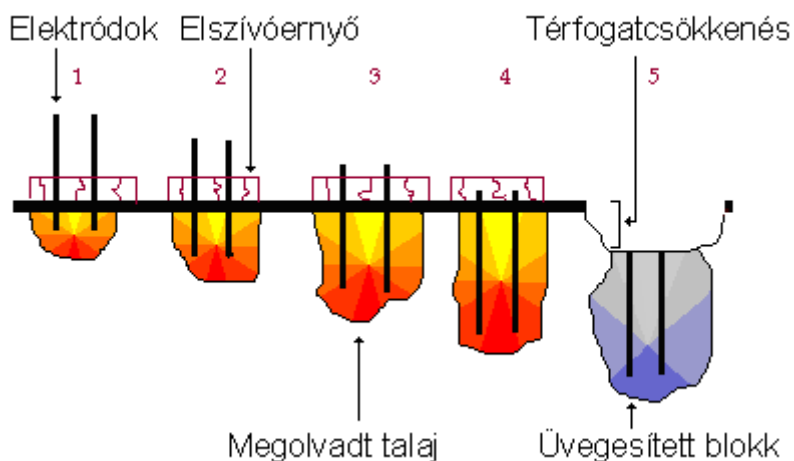
Amint a talaj megolvad és üvegesedik az elektród fokozatosan betokozódik. A grafitelektródás *in situ* vitrifikációs folyamatban az elérhető hőmérséklet 1600-1800 °C. Az üvegesítő olvasztás nyomán 1400 t-ás tömbök képződnek, melynek mélysége meghaladja 20 lábat (kb. 7 m). Az egyedi tömböket összefüggő monolitá lehet összeolvasztani.

Plazma alkalmazása esetén (ISPV) ezzel szemben az elérhető hőmérséklet: 4 000 – 7 000 °C. Az alkalmazott plazmaégők teljesítménye 100-200 kW mely 100 kW/m<sup>3</sup>-ig terjedő energiasűrűséget ad.

Az ISPV rendszer a grafitelektódáshoz képest több gázt termel, mely gázokat el kell vezetni. Ennek elvi módszere a kezeléshez szükséges gáz mennyiségének csökkentése.

A plazmás vitrifikációs kezelési eljárásnál a plazmaégőt a furat aljára bocsátják és azt a folyamat előrehaladásával fokozatosan felfelé emelik.

A szennyezőanyag – annak természetétől függően – különböző reakciókban vesz részt. A szerves szennyező pirolizálódik és általában gáznemű reakciótermékeket ad. A gázok a felszín felé törekednek és egy elszívóernyő alatt gyűlnek meg, ahonnan egy gázkezelő rendszerhez kerülnek.



6.2.3.15. ábra. Az *in situ* vitrifikáció előrehaladásának lépései és eredménye

Ez olyan kezelőrendszer, mely a talajban levő illósítható vagy veszélyes anyagokat inertté teszi. A szerves jellegű szennyezők pirolizálódásán kívül a nehézfém szennyezők pl. az megolvadt talajba kerülve egy ún. üvegesítő befoglalásban vesznek részt. A radioaktív anyagok szintén befoglalható, mellyel hatékonyan csökkenthető a veszélyes anyag kioldódása.

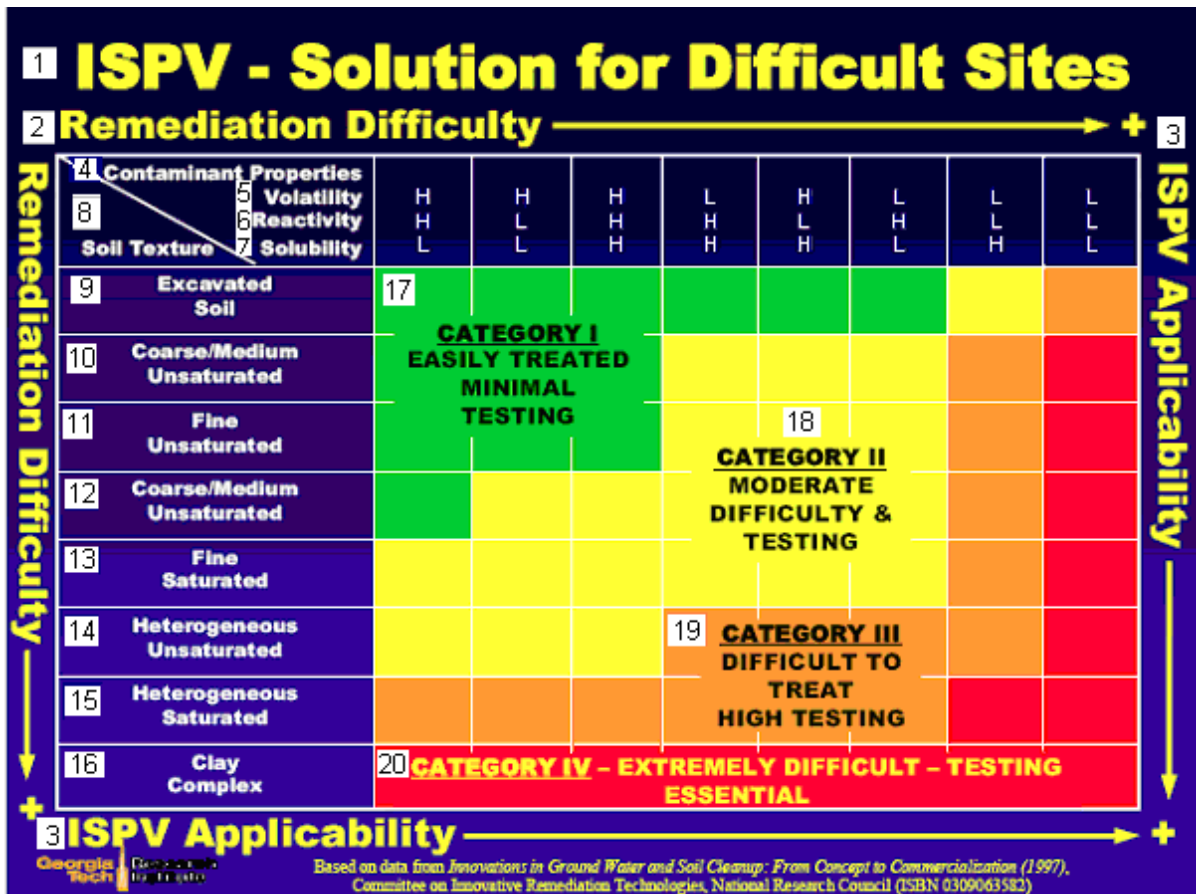
A folyamat előrehaladásával a talajban levő póruscsatornák összeolvadnak, és később eltűnnek. Ez mintegy 20-50 %-os térfogatcsökkenést eredményez. A művelet eredménye az üvegesített és inert talajblokk.

#### *Alkalmazhatóság*

A fenti talajkezelési eljárás alkalmazhatóságát a talaj- és szennyezési jellemzők behatárolják. Általában megállapítható, hogy a durvából a finom szemcseméretre való haladás, valamint a telítetlen pórus szerkezettől a telített pórus szerkezetek felé való elmozdulás fokozza a kezelési nehézségeket.

A kezelési nehézségeket a szennyezők minősége alapján értékelve az állapítható meg, hogy a szennyező növekvő illékonyasága, reakcióképessége és oldhatósága azok a fő tényezők, melyek kihatnak a sikerességre. A két szempontrendszerből mátrixszerű táblázatot készítve egy olyan mezőt kapunk, melyet négy részre osztva a kőzet és szennyező tulajdonságok alapján az ISV és ISPV lehetőségeket könnyen, közepes nehézséggel, nehezen és extra nehezen kezelhetőre osztályozza.

Az alábbiakban csatolt ábra szerint a szennyezők tulajdonságaitól függetlenül – zöld színnel jelölve – könnyen kezelhetők a kitermelt és a durva szemcsés talajok. A piros színnel jelölt extra nehezen kezelhető kategóriába esnek a – szennyező minőségtől függetlenül – a komplex agyagos talajok, míg ugyancsak extra nehezen kezelhetők azok a szennyezések – az alapkőzet tulajdonságaitól függetlenül – amelyeknél mindhárom szennyezőanyag tulajdonsága a egyidejűleg a legkedvezőtlenebb.



6.2.3.16. ábra. Az ISPV talajkezelési módszer alkalmazhatóságának esetei

1: Az ISPV alkalmazhatósági esetek; 2: Szennyezőeltávolítási nehézségek; 3: ISPV alkalmazhatóság;

4 Szennyezőanyag tulajdonságai; 5: Illékonyosság; 6: Reakcióképesség; 7: Oldhatóság; 8: Talajszerkezet;

9: Kitermelt talaj; 10: Közepes méretű telítetlen talaj; 11: Finom szemcseméretű, telítetlen talaj; 12: Durva-közepes, telítetlen talaj; 13: Finom szemcsenagyságú telített; 14: Heterogén szemcseméretű, telítetlen;

15: Heterogén, telített; 16: Komplex agyagok; 17: Könnyen kezelhető, minimális laborigény;

18: Közép-nehezen kezelhető, növekvő laborigény; 19: Nehezen kezelhető, nagy laborigény;

20: Extra nehezen kezelhető, igen nagy laborigény. Rövidítések: H: high – magas; L: Low – alacsony

Az *in situ* vitrifikáció előnyei

A számos előnyt a hagyományos technikákhoz képest soroljuk fel:

- A vitrifikáció egyszerre számos szennyezés kezelésére alkalmas, ami a legnagyobb előnye. A szennyezés egyszerre lehet szerves, szervetlen vagy radioaktív.
- A vitrifikációs módszerrel a helyszínt ártalmatlanítva nem lép fel költséges hulladék-szállítási igény.



- A kezelés befejezése után olvadt üvegblokk marad vissza, mely a helyszínen hagyható. Ez a projekt megbízójának nagy biztonságot ad, mivel egyéb szennyezésekkel szemben is lecsökkent a szennyeződési veszély. Az egyes blokkok tömege elérheti akár az 1400 t-át is, de nincs szükség annak aprítására vagy a környezettől való elzárására.
- A többi hagyományos eljáráshoz képest az in situ vitrifikáció széleskörűbb. Az eljárás a végsőig hatékony, lebont és immobilizál szinte mindenféle szennyezőt. Az olvadt blokkok képződése egy mellékjelenség. A blokkok kialakulásával egyidejűleg a talaj 20-50 %-ot tömörödik az eredeti térfogathoz képest. Amennyiben mégis el kell távolítani a szennyezést a helyszínről, akkor a lecsökkent térfogat és a mechanikailag megnövekedett szilárság a szállítást csak megkönnyíti.
- Az in situ vitrifikációs eljárás költsége az olvasztáshoz szükséges villamos energia rendelkezésre állásától függ. Amikor az elektromos energia ára 0,07 USD/kWh, a költség kb. 250-750 USD/t. Néhány tényező, mint pl. a szennyezés mélysége befolyásolja ezt, ugyanis a kezelés mélységének növelésével a költségek csökkennek. A talajviszonyok is kihatnak a költségekre.

#### *Az in situ vitrifikáció előnyei a talaj és talajvízremediáció területén*

Az eljárásnak jónéhány előnye van a szennyezésetávolító remediációs technikák területén, melyek a következők.

- Egylépcsős folyamat.
- Gyorsabb a többinél. A folyamat kivitelezéséhez kb. 24-36 óra szükséges, a más technikáknál tapasztalt több héttel, vagy éppen évekkel szemben.
- Jól behatárolható területű.
- Nem követeli meg a talaj tisztítását.
- Helyszíni probléma-megoldást ad.
- Nem jár hulladékelszállítással.
- Kényelmesen megoldható a szennyező hulladék-elhelyezése.
- A hulladék jól be van „csomagolva”.
- Lehetővé teszi a biológiai lebontást a felezési időtől függően.
- Megvédi a talajt a további kioldódástól vagy szivárgástól.

A közelmúltban Phoenix Solutions Co. (Minneapolis, MN) által kifejlesztett nem áthúzott íves plazmafáklyás technológiával *PCB-vel szennyezett szilárd anyagok* feldolgozását hajthatják végre. A plazma gáz nitrogén, az égő teljesítménye pedig 150 kW. Világítótest ballasztanyagot adagolnak a feladáshoz. A füstgázokat (30 % H<sub>2</sub>, 20 % CO és a fennmaradó pedig N<sub>2</sub>) vízhűtésnek vetik alá a toxikus melléktermékek elkerülése érdekében [11].

*Szerves hulladékok* feldolgozásával történő szintézisgáz előállításával foglalkozik Rutberg és szerzőtársai [12] továbbá Bratsev és szerzőtársai [13] (Westinghouse-Hitachi eljáráshoz hasonló). Egy nem áthúzott íves plazmafáklyával gyújtják be az aknakemencébe helyezett hulladékot a kemence oldalsó vagy felső részéről. A rendszer kapacitása 50 kg/h és az energiaigénye pedig 1-2 kWh/kg a hulladék fajtájától függően.

### ISZAPOK FELDOLGOZÁSA A PLAZMA TECHNOLÓGIÁVAL

Papír- és cellulógyártásból származó iszapok kezelésére alkalmas a PASO eljárás. A forgókemencében üzemelő 200 kW-os plazmafáklya levegővel működik és 2 t/h hulladék feldolgozására alkalmas. Az energia nagy része az iszap szárítására fordítódik. Az 500 °C feletti hőmérsékletű gőz alkalmas elektromos áram termelésére [14].

Galvanizációs iszap plazma technológiával (nem áthúzott íves DC) történő vizsgálatáról ír Ramachandran és Kikukawa. A minta fő összetevői Ni és Cr – ferrit és kromit formában. Szerzők kísérletekkel bizonyították a két fő alkotó fém-kinyerését és a maradvány iszap kioldhatatlan salakká történő alakíthatóságát. A folyamat során keletkező termékek olyan finom méretű szemcsék (ún. UFP termék 10 nm-es szemcsemérettel), amelyek hagyományos kohászati módszerekkel feldolgozhatóak, és ártalmatlan vitrifikált olvadékok [2].

Az eredmények azt mutatják, hogy mind a nehézfémek (Cr, Ni, Zn) újrahasznosítása UFP-ként, mind pedig a maradék iszap inert salakká történő átalakítása megvalósítható az alkalmazott plazmakezeléssel [2].

Wei és szerzőtársai munkájukban nikkeltartalmú hulladékok – nevezetesen galvániszap szűrési maradéka és használt katalizátor - kezelésével (Ni stabilizálásával) foglalkoznak >1500 °C hőmérsékleten, 0...6000 Pa-lal a normál légköri nyomás alatt. A hulladék kezelési ideje 60 min volt. A galvániszap és használt katalizátor minták kiindulási Ni tartalma rendre 13,9 % és 2,42 % volt. Röntgen abszorpciós spektroszkópiával vizsgálták a Ni molekulák környezetét. A plazma kezelés eredményeként a minták BET szerinti fajlagos felülete a használt katalizátor esetében 65,3 m<sup>2</sup>/g-ról 0,72 m<sup>2</sup>/g-ra és az iszapnál pedig 158,5 m<sup>2</sup>/g-ról 0,25 m<sup>2</sup>/g-ra csökkent. A plazmával történő kezelés növelte a Ni összetevő kristályméretét és jelentős változás állt be a galvániszap Ni molekuláris környezetében [3].

### GUMIABRONCSOK FELDOLGOZÁSA PLAZMA TECHNOLÓGIÁVAL

A plazma pirolízissel történő hulladék gumiabroncsok kezelése során egy ígéretes lehetőséget jelent a korom töltőanyag lehető legnagyobb mennyiségben történő újrahasznosítása. Huang és szerzőtársai [27] kiterjedt vizsgálatot folytattak a használt gumiabroncsok plazmával történő kezelés utáni szilárd maradékanyaggal és összehasonlították azt a kereskedelmi korommal. Az eredmények azt mutatták, hogy a minta több 80 m/m % elemi szenet tartalmaz és a fajlagos felülete megközelítette a közepes minőségű ipari koromét. A mintaanyag azonban jelentős hamutartalommal rendelkezik, ami feltehetőleg az adalékanyagokból (ZnO és a gumigyártás során alkalmazott egyéb szerves anyagok) származik. Az így előállított korom csak alacsony minőségű fél-aktív töltőanyagként hasznosítható és nem adagolható közvetlenül a gumiabroncs gyártása során, mint korom alapanyag. A kapott termék további feldolgozásával – savas és lúgos mosással, hamutlanítással - kiváló minőségű korom állítható elő [28].

Egy 80 kW névleges teljesítményű egyenáramú plazmát használva vizsgálta Chang és szerzőtársai a gumiabroncs hulladék feldolgozását [29]. Az előzetesen <500 µm-esre őrölt mintaanyag feladási tömegárama 1,5-4 kg/h volt. A képződött gáz fontosabb összetevői a következők voltak: 5...20 % H<sub>2</sub>, 4...9 % CO, 0,6...3 % CH<sub>4</sub>, 0,5...1 % C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, 0,5...7 % CO<sub>2</sub>.

Huang és szerzőtársai szerint a gumihulladékok plazmával történő ipari feldolgozásának a következő feltételek mellett van gazdasági potenciálja [27]:



1. Beruházási költség egy 300 kg/h feldolgozóképeségű létesítményre 1 500 000 USD.
2. Fajlagos energiafelhasználása: 1 kWh/kg.
3. Ipari elektromos áram ára: 0,05 USD/kWh.
4. Feladott gumira vonatkozó korom kihozatal minimum 23 m/m %. A fél-aktív töltőanyag piaci ára: 500 USD/t.
5. Gumihulladék átvételi ára: 30 USD/t.
6. Gáz kihozatal: 3 Nm<sup>3</sup>/kg, amelynek fűtőértéke: 9MJ/Nm<sup>3</sup>. A keletkezett gázból, kazánban vagy gázmotorban történő elégetéssel elektromos energiát állítunk elő 26 %-os hatásfok mellett.

#### TELEPÜLÉSI SZILÁRD HULLADÉKOK KEZELÉSE PLAZMÁVAL

##### *A reakcióterben lejátszódó fizikai kémiai folyamatok*

A plazmaív magas hőmérsékletén valamennyi szerves vegyület elemeire bomlik. A szerves anyagok, főleg a magas olvadás- és forráspontú fémoxidok is megolvadnak és az ív hőmérsékletétől függően, elpárolognak. Redukálószer jelenléte esetén a fémoxidok redukálódnak és fémgőzöket, valamint CO-t képeznek. Oxigén általában nincs jelen. Az így képződött elemek egy része elektron leadására és felvételére is képes, ennél fogva a plazmaív alatt atomok és ionok is vannak. Az anyag egy része PCG gázként (Plasma Converted Gases) távozik a konverterből, míg az el nem párolgott maradék szerves anyagok a redukálószer mennyiségétől függően oxidos vagy fémes állapotban vannak jelen a konverter fenékrészén. A plazma felhasználásának alapuló eljárások előnyei és hátrányai az alábbiak:

##### Előnyök:

- Kis fajlagos gázmennyiség.
- Maradék szilárd anyagok elüvegesíthetők és ezzel megakadályozható a kioldódás.
- A patogén és egyéb fertőző anyagok teljesen elbomlanak.
- Jobban szabályozható, mint az égetés.
- Hidrogén-dús PCG gázok fejleszthetők.
- A plazmaíven fejlődött összes energia általában visszanyerhető.

##### Hátrányok:

- A technológia még nem teljesen kipróbált.
- Túl nagy hőmérséklet.
- Magas költségek.
- Korlátozott méretek.

##### A plazmatív eljárások további jellemzői az alábbiak:

- A hulladékot zárt konverziós tartályba adagolják, melyet a rendkívüli nagy hőmérsékletek elviselésére terveztek. A tartályon három nyílás van: hulladékadagoláshoz, PCG gázok elvezetéséhez és a salakoláshoz.

- A plazmaív elektronikusan jól szabályozható, ionizálja a gázokat ezzel nagy, a szokásos lángokhoz képest sokkal nagyobb energiát kölcsönöz az ívnek. Az ív energiája átadódik a hulladéknak, mely megolvad és elgázosodik.

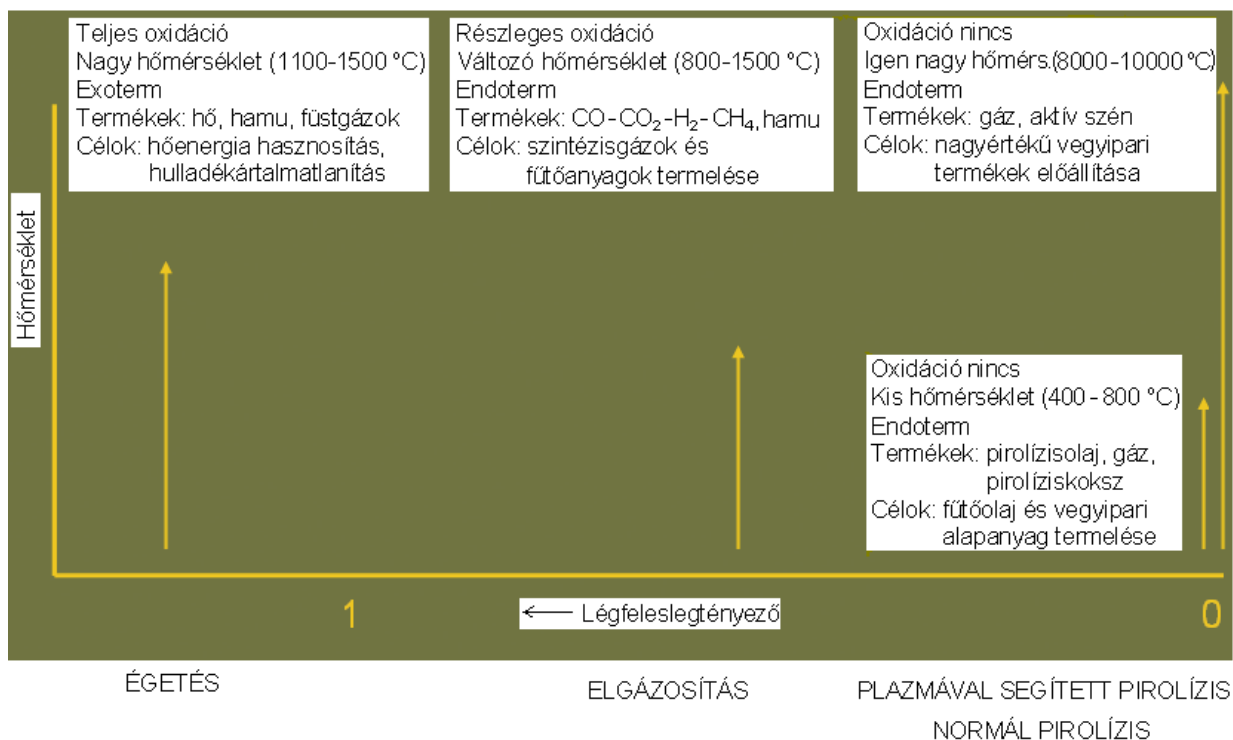
- A PCG gázok a technológia legértékesebb termékei. A reakciótérből való távozásuk után a PCG gázokat le kell hűteni a kémiai reakciók, kiváltképpen a dioxinok képződésének megakadályozására. A gázokat ezután tisztítják, majd kinyerik belőlük az éghető komponenseket (CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>), a savakat (H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, HCl), eltávolítják belőle a N-vegyületeket (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub>) és végül kinyerik belőle a fémeket (Cr, Hg, Pb, Cd) és az arzént.

- A salak az a része a hulladéknak mely nem gázosodott el. Ez a magmához és a lávához hasonló anyag, mely megdermedve az obszidiánhoz (vulkáni üveghez) lesz hasonló. Az üveges természetű anyagok megfelelőbbek, mint az égetőműi hamu, mivel gyakorlatilag nem oldható ki belőle káros anyag és nem tartalmaz szerves anyagokat sem. A salak főleg a Si, Fe, K, Na, Al és egyéb fémek oxidjaiból áll. Általában a darabos salak jól értékesíthető, míg az erőműi hamu poros, az értékesíthető-képességét gátló oldódó nehézfémeket és dioxinokat tartalmaz.

Fenti tulajdonságai miatt a környezetvédelem területén a plazma kiválóan alkalmas a klórozott szénhidrogéneket tartalmazó gázok ártalmatlanítására, az erőműi hamu és pernye megolvasztására, kórházi hulladékok kezelésére, szerves anyagok nagy értékű fűtőanyaggá való konverziójára.

#### *Hulladékból való energiatermelés*

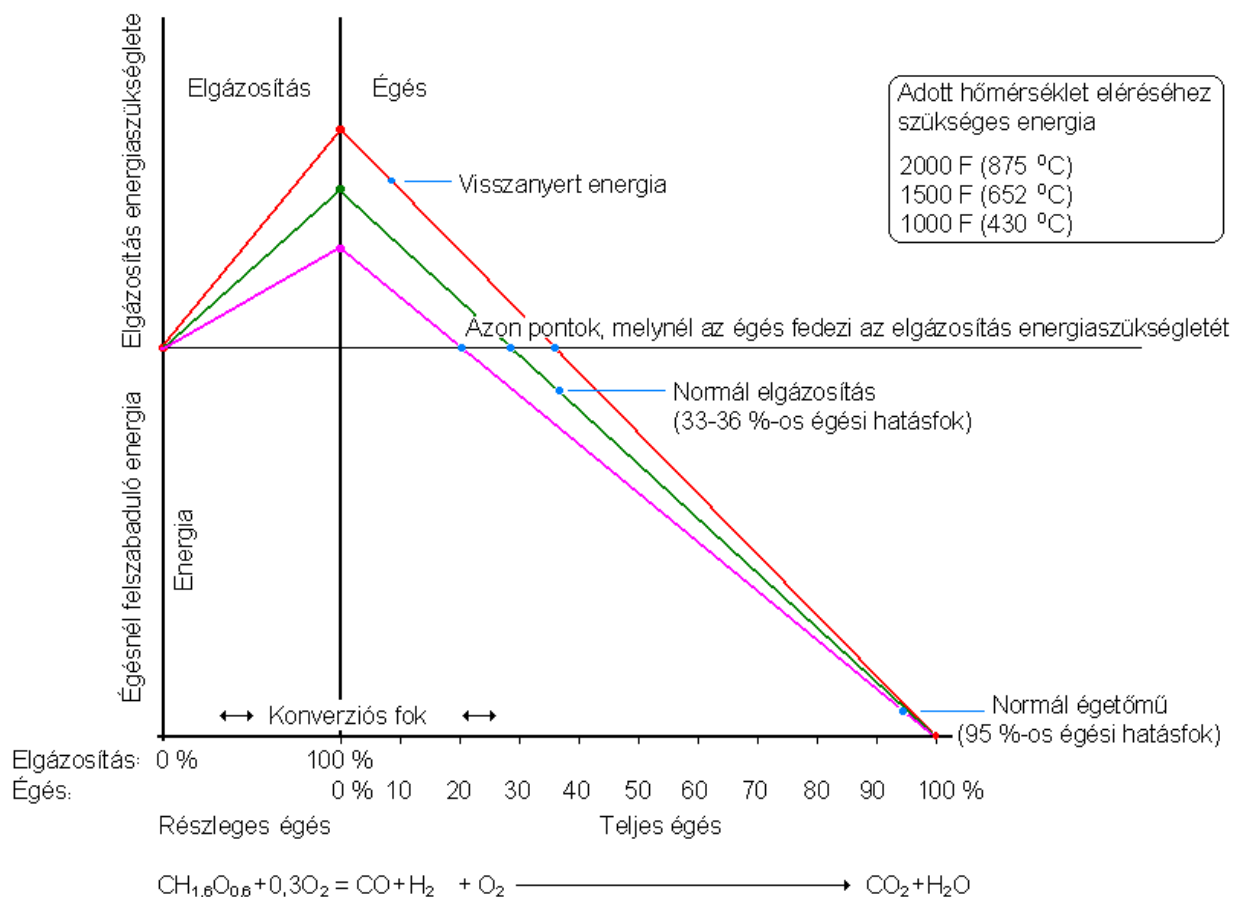
A hulladékkezelő telepek mellett egyre gyakrabban alkalmazzák az égetést és az elgázosítást, és nagy hangsúllyal vetődik fel a plazmának a települési szilárd hulladékok kezelésére való felhasználása is, azzal a céllal, hogy alternatívát nyújtson a hulladéklerakói szolgáltatásokkal szemben. A termikus eljárások fő hőmérsékleti és energetikai viszonyait az 17. ábra foglalja össze.



6.2.3.17. ábra. A közönséges termikus eljárások és a plazma alkalmazásának összefoglalása

A hagyományos hulladékfeldolgozási technológiák berendezéseiben részben elgázosítás, részben égetés megy végbe, mely rész folyamatok fizikai és kémiai energia felszabadulással járnak, illetve energiát igényelnek. Az elgázosítás révén a szerves anyagok (itt egyszerűsítve  $\text{CH}_{1,6}\text{O}_{0,6}$ ) égése CO és  $\text{H}_2$  fokozatig megy végbe, míg égésnél a  $\text{CO}_2$  és  $\text{H}_2\text{O}$  fokozat elérésére kell törekedni. Alapelveként rögzíthetjük, hogy az elgázosítás munkahőmérsékletének fenntartásához és a felvetődő hőfogyasztó folyamatok energiaszükségletének fedezéséhez csak az az energiamennyiség használható fel, melyet a gázok az elméleti égéshőmérsékletéről a munkahőmérsékletre való lehűlés során adnak le. Más oldalról, az elgázosítás részleges oxidációja nem elég annak hőigényének fedezésére, az elgázosítás bruttó folyamata endoterm. A hőhiány fedezéséhez szükség van a CO és  $\text{H}_2$  további oxidációjára. Ezeket a hőviszonyokat szemlélteti részben az 18. ábra.

A hőtechnikai elemzés szerint a hagyományos elgázosítás maradéktalanul nem mehet végbe, mert szükségszerűen szükség van a CO és a  $\text{H}_2$  feloxidálására, illetve külső hőközlésre. A távozó füstgázok energiatermelő képessége kicsi, mintegy 0,4-0,6 MWh/t a hulladékra vonatkoztatva. Ugyanakkor a plazma magas hőmérsékletéről lehűlt gázok elegendő energiát tartalmaznak az elgázosítás és az égetés 400-900 °C-on végbemenő folyamatainak fedezéséhez, sőt a füstgázokból jelentős villamos energiát is fejleszthető. Ennek értéke >1 MWh/t.



6.2.3.18. ábra. Az elgázosítás és az égetés hőtechnikai viszonyai

### Plazma pirolitikus kezelésénél képződött anyagok

#### Kátrány

A kátrány a karbon, hidrogén, oxigén vagy nitrogén atomjaiból épül fel. A termikus kezelés alatt a kátrányok 450-1800 F-ig (185 -785 °C-ig) tartó hevítés során képződnek. A kátrányokat primer és szekunder típusra osztályozzák, melyek közül a primer 450 F körül képződik és 1500 F (650 °C)-on bomlik el. A szekunder típus 900-1800 F között képződik (385 -785 °C), melyen nem a láng hőmérsékletet, hanem a reaktor általános hőmérsékletét kell érteni. Az elgázosító berendezések átlagos hőmérséklete általában nem elég a kátrányok elbontásához, ezért a kátrányvegyületek szennyezik a fűtőgázokat.

A kátrány általában kicsapódik a berendezés felületén, eltömíti az áramlási keresztmetszetet és a gázból való eltávolítása nehéz. Némelyik kátrányfrakció a hamuhoz és a kokszolódási maradványhoz tapad, mérgezővé téve azokat. A plazmaberendezések használatakor megakadályozható a kátrányos hamu képződése, mivel minden ilyen átmenetileg képződött vegyület elbomlik. Néhány adat primer és szekunder kátrányra:

Primer kátrányvegyületek alkotói: savak, cukrok, alkoholok, ketonok, aldehidek, fenolok, furánok, és vegyes oxygenátok elegye. Valamennyi anyag több vegyülethől áll. A primer kátrányok főleg pyrrole, piridine benzofurán vinilfenol, quinoline, benzofurán, naftofurán... vegyületekből állnak.

## Kokszolódási maradvány

Az el nem égett C-vázból áll. Egy hagyományos elgázosítóban vagy égetőműben a kokszolódási maradványon kátrány csapódik ki. Az elszennyeződött koksz a fénkhumba kerül és az egész mérgezővé és veszélyessé teszi. A koksz teljes mértékű CO-vá alakításához a munkahőmérsékletet 2000 °C fölé kellene emelni. Ez az érték külső hőközlés nélkül nem érhető el sem elgázosítóban, sem égetőműben, ezért a szokványos ilyen berendezések hamuja mindig tartalmaz kokszot. A plazmával felszerelt berendezésekben a képződött koksz elég.

## Szénhidrogének

Ez a termékcsalád karbonból és H-ből áll, melyek főleg metánt (CH<sub>4</sub>), acetilént (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), benzolt (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), toluolt (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>), sztirolt (C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>) képeznek. Az ilyen gázoknak magas a fűtőértéke és gázturbinában egyszerűen villamos energiává alakíthatók. A szénhidrogének magasabb, az elgázosítás és az égetés munkahőmérsékletét meghaladó hőmérsékleten képződnek. A szénhidrogének képződése annak is függvénye, mi a reakciómechanizmus meghatározó folyamata. Plazmaégő használatakor a szénhidrogének képződése jól szabályozható, és ennek következtében a távozó gázok nagy mennyiségben tartalmaznak nehézszenhidrogéneket. Fentiek közül az etilén (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) értéke eléri a 10 %-ot, mely előnyösen használható a villamosenergia termelésénél.

## Dioxinok

A dioxinokat és furánokat mintegy 70 vegyületből álló klórozott és fluorozott szénhidrogén alkotja. Akkor képződnek, ha műanyagot, klórtartalmú oldószert vagy egyéb klórtartalmú anyagot égetnek gyengén redukáló közegben. A dioxinok 785 °C-ot (1800 F) meghaladó hőmérsékleten bomlanak le, vagyis a hagyományos hulladékkezelő-művekben nem lehet képződésüket megakadályozni. Plazmával segített erőművekben a dioxinok teljesen elbomlanak vagy képződésük szintúgy megakadályozható.

## Következtetések

A plazmával végzett elgázosítás az egyetlen kipróbált eszköz arra, hogy:

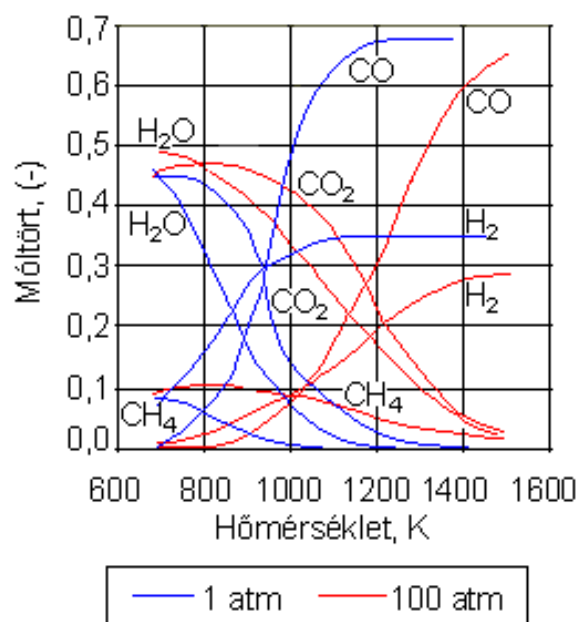
- elbontsák a kátrányokat,
- megakadályozzák a kokszolódási maradványok hamuba való kerülését,
- ne termeljenek toxikus hamut,
- elegendő hőt termeljenek ahhoz, hogy bármiféle hulladékot elgázosíthassanak,
- minimalizálhassák a füstgázok kémiai energiavesztéseit,
- bármilyen energiaforrást felhasználhassanak,
- megszüntessék a dioxinképződést,

Az MSW-vel való kezelési kísérleteiket az amerikaiak a Linn County művekben (Iowa) végezték egy 500 t/d kapacitású kísérleti telepen.

Az MSW plazmával való kezelése a pirolízishez hasonló folyamat mely 3000 és 6000 °C között megy végbe, ahol is a szerves anyagok szintézisgázzá alakulnak át, miközben a szerves anyagok közetszerűen megszilárdult anyagok képeznek. A képződött szintézisgázokat, melyeket újabban syngázoknak (syngas) is nevezik főleg CO-ból és H<sub>2</sub>-ből állnak. A plazmakonverterben levő gázok a magas hőmérsékleten a termodinamikai egyensúlynak megfelelő gázösszetételt alakítják ki. Ez látható az 19. ábrán.

A szilárd hulladékban levő szerves anyagok üvegesen dermedő salakká alakulnak át melyek főleg szilíciumdioxid és fémoxidok képeznek. A képződő szintézisgázokat

gőzfejlesztésen keresztül áramtermelésre használták, míg a salakokat az útépitésben tudták felhasználni. Érdeemes megjegyezni, hogy 1 t MWS-re 500 kWh felhasználás jutott, de az általános fejlődésnek köszönhetően az energiafelhasználás 200 kWh-ra csökkent. Az üvegesített salak tömege 400 font volt.



6.2.3.19. ábra. Szerves anyagokból képződő gázok egyensúlyi összetétele a hőmérséklet és a nyomás függvényében

A demonstrációs üzemekben végzett kísérleteken túl, létrehozták a plazma felhasználásán alapuló komplex hulladékkezelő berendezéseket is, melyek az alapanyagokból nagy értékű fémeket, salakokat, vegyi termékeket, szintézisgázt vagy elégetésre alkalmas tiszta gázokat, illetve elektromos energiát állítanak elő. Az ilyen komplex rendszert mutat az 20. ábra.

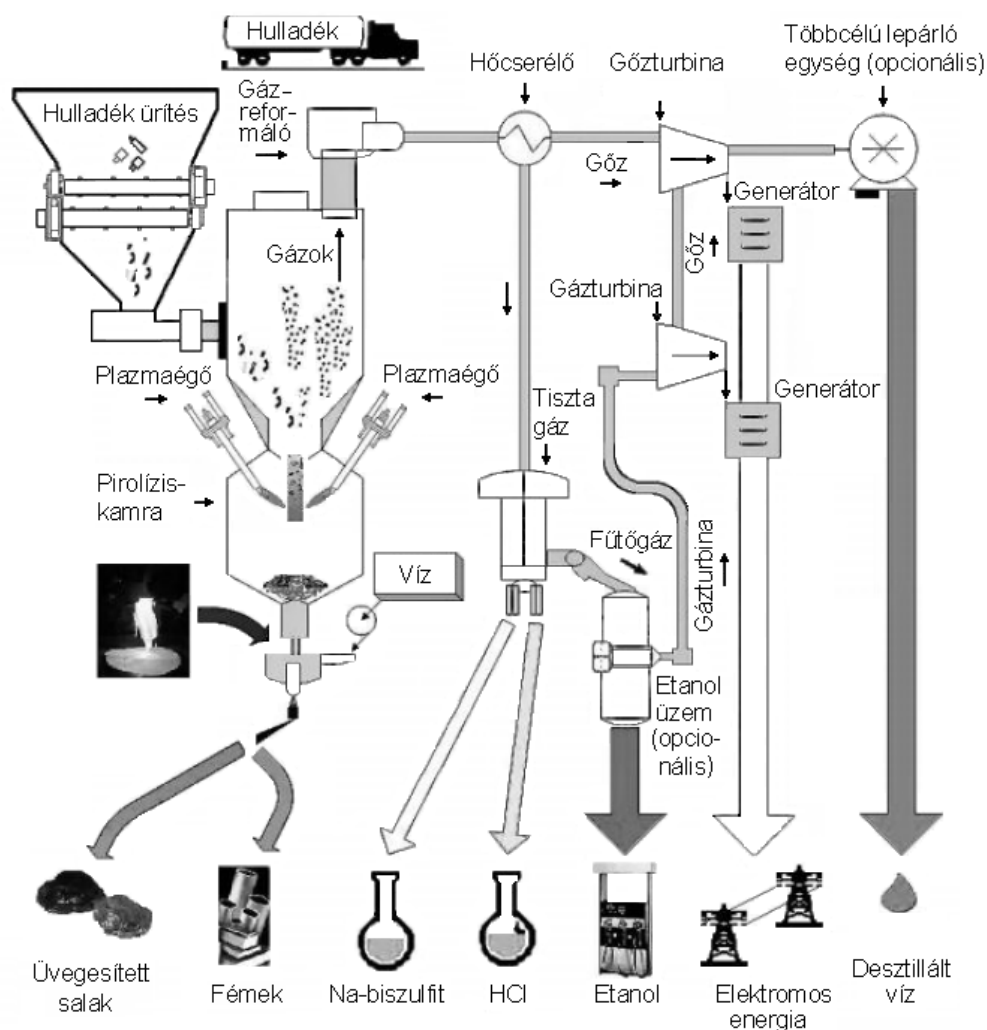
Az plazmaégetőt az ilyen esetekben általában aknás kemencében alkalmazzák, ahova az anyagot osztályozás után felül, vagy a felső részen oldalról, de zsilipelve juttatják az ellenáramú kemencébe. A plazmaégetőt az aknás kemence fűvóvájába szerelik, ahol az égés fókuszpontjában elérik a 3 000 – 10 000 °C-t. a lehelő süllyedő hulladék – a különböző hőmérsékletű zónákon áthaladva sorrendben először szárad, majd pirolizálódik, elgázosodik, elég, majd a maradék szervesetlen anyaga megolvad. Az aknában uralkodó gyengén redukáló atmoszféra hatására a közepes oxigénaffinitású és az annál nemesebb fémek redukálódnak és a salakfázis mellett folyékony fémfázis is képződik. A nyersgázok a kemence felső részén hagyják el a kemencét. A nyersgázt hűteni és tisztítani kell, majd arra használják, hogy gáznemű tüzelőanyagként, vagy pedig folyékony üzemanyagként tüzeljék el az ipari hőforralókban gőztermelési céllal, vagy belsőégésű motorokban használják áramtermelési céllal.

Kombinált ciklusú energiatermelési folyamatban való felhasználása szintén lehetséges. A biomassza elgázosítása 75-80 %-os hatásfokú, mely az alapanyag vegyi összetételétől és hőkapacitásától függ.

A Westinghouse plazmarendszereket előállító cég számos sikeres tervet, fejlesztési munkát és plazmakezelési kísérletet végzett különböző anyagokkal, beleértve az elgázosítási, üvegesítési, MSW kezelési, autóshredderezési, fosszilis tüzelőanyagokat valamint többféle ipari folyékony és szilárd anyagot. Több oldalról is megállapítható volt, hogy a települési

szilárd hulladék (MSW) előnyösen kezelhető a nagyenergiájú plazmaívvel. A plazma általában bármilyen eredetű hulladék kezelésére alkalmas.

Az elgázosítás tárgyát képező anyagok között egyaránt megtalálható volt a kis fűtőértékű (1600 kcal/kg) MSW, az autoshredderezési hulladék (4500 kcal/kg), valamint a nagy fűtőértékű szén (8000 kcal/kg). A kísérleteket olyan körülmények között végezték, ahol az elgázosítás volt a cél, vagyis főleg CO és H<sub>2</sub> képzése. A betétben levő szervesetlen komponensek olvadt salakká alakultak, melyek üvegesen dermedtek meg.



6.2.3.20. ábra. A plazmával való települési hulladékok kezelésének termékei

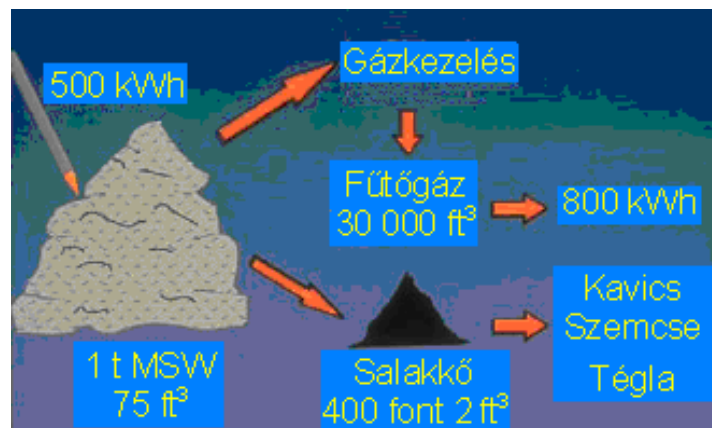
Az elgázosítás egyszerű és jól bevált technológia. A legkülönbözőbb eredetű szerves anyagoknak a gázzá való átalakítását foglalja magába, amelyeket általában vízgőzzel való reakció révén szintézisgázzá (syngas) alakítanak át. A reakció nagy hőmérsékleten és nyomáson magától is végbemegy és a teljes égéshez való oxigénmennyiség felét fogyasztja el.

A szintézisgázok hagyományos piaca a gáztermelésre fókuszál, mely közbenső lépés az olyan fontos termékek gyártáshoz, mint az ammónia, melyet a továbbiakban műtrágyagyártáshoz használnak.

Az elektromos energiafejlesztési céllal telepített plazmaelgázosító üzem telepítéséhez szükséges tőke meghatározásához alapul vehetjük a Linn Countyban nyert adatokat, mely

szerint a napi teljesítmény  $500 \text{ t}_{\text{MSW}}/\text{d}$ , melynél az exportenergia  $800 \text{ kWh}/\text{t}_{\text{MSW}}$ . Ebben a szükséges összes tőke 79,2 millió USD, mely után évi 5,75 % kamatot kell fizetni 20 év futamidőre. Figyelembe veendő még, hogy az állam 1,8 cent dotációt ad minden zölden termelt kWh után, és még további 1 centet egyéb zöldberuházási okok miatt.

A telep évente  $109,5 \text{ kWh}$  eladható villamos energiát termel, melynek 2,5 cent/kWh áron értékesíthető. A termelt salak útépítési anyagként adható el, melynek eladási ára 15 USD/t. A telepen 50 fő talál munkát.



6.2.3.21. ábra. A települési szilárd hulladékok kezelésének anyag- és energiaviszonyai

A plazmával segített elgázosításban az innovatív gondolat az, hogy az elektromos energiát megújuló erőforrásból lehet megtermelni, és környezetbarát a melléktermék is. Ezen kívül a helyi gazdasági környezet zöldenergiát értékelő felfogása jelenti a döntő tényezőt az ilyen technológiák életképessége szempontjából.

Szerencsés eset az önkormányzat és a kezelővállalat együttműködése, mely pozitív környezeti vonatkozásban is.

A Tetronics cég által fejlesztett Gasplasma eljárás a fluidizált ágyas kigázosítás és a hidrogénben gazdag szintézisgáz tisztítására szolgáló plazma kombinációjából áll. Ezáltal a fűtőérték több, mint a fele visszanyerhető. A plazma magas hőmérséklete alkalmas maradék kátrány és faszén feldolgozására.

Az ilyen módon nyert szintézisgáz 30-50 % hidrogénből és 30-40 % szénmonoxidból áll - a hulladék típusától függően - és tiszta hidrogén előállítására alkalmas. Ezek feldolgozóképesége 10...17 t/nap közöttiek és fajlagos energiaigénye  $1100 \text{ kWh}/\text{t}$  *kórházi hulladéka*. A szintézisgáz átlagos energiatartalma  $10 \text{ MJ}/\text{m}^3$ , ami azt jelenti, hogy napi 6-10 t hulladék feldolgozásával üzemeltethetjük a plazma rendszerünket.

Egyes számítások szerint 125 t **MSW** napi feldolgozásából  $600 \text{ kWh}/\text{t}$  többlet energia nyerhető [16].



## 6.2.3.5. ÉRTÉKES ANYAGOK VISSZANYERÉSE PLAZMÁVAL

### 6.2.3.5.1. ALUMÍNIUM SALAK ÚJRAHASZNOSÍTÁSA

Ez a fajta hulladék az alumíniumgyártás során keletkezik mint melléktermék, amelynek alumíniumtartalma 50...75 % közötti. Általában az előállított alumínium 5 %-a ilyen formában vész el.

Hagyományosan egy forgódobos kemencében valósítják meg a feldolgozást, amely során a hulladékhoz a felületi oxidáció csökkentése érdekében sókat adagolnak. Az így keletkezett másodlagos salak veszélyes hulladéknak minősül. A nagyobb hőmérsékleten üzemelő plazma technológiával azonban eltávolíthatjuk a hozzáadott sókat, továbbá alacsonyabb energiaigény és magasabb kihozatal érhető el.

Ipari körülmények között a HydroQuebec fejlesztett ki az erre a célra alkalmas plazmatüzelésű forgókemencét (1 MW-os nem áthúzott íves plazmafáklyával), amely gazdasági megfontolásból levegő plazmagázzal üzemel [17].

### 6.2.3.5.2. FÉMEK KINYERÉSE SZÁLLÓPORBÓL

Minden tonna elektromos ívkemecékben előállított acél után kb. 16 kg **szállópor** keletkezik. A fokozatosan növekvő acélgyártással pedig e hulladék mennyisége is növekszik, amely nem deponálható kezelés nélkül. A szállópor összetevői javarészt Fe és Zn, de előfordul benne Pb, továbbá Cd és Cr is.

A Tetronics a Bethlehem Steel-lel közösen kifejlesztett egy áthúzott ívű plazma eljárást, ami 700 kW-os grafit katódos kialakítású. Két üzemmódban működtethető: 1) teljes redukció és 2) szelektív redukció. Az első változat egy erősen redukáló atmoszférában (nagy mennyiségű szén adagolása mellett) működik, aminek eredményeként a vas kinyerése a kemencében, a cinkké pedig a kondenzátorban történik. A második módszer gazdaságosabbnak bizonyult, ami során a vasat oxid formájában a salakban hagyjuk és a cink-oxid pedig szemcsés formában kinyerhető a filterekről [18].

Elektromos **ívkemence szállóporának** (EAF dust) feldolgozására fejlesztette ki a PlasmaDust eljárást a svéd SKF cég. A szállóport szénporral, homokkal és a technológián belül visszavezetett hulladékokkal keverik össze, majd az elegyet pneumatikusan egy 12 m magas, 2 m belső átmérőjű, koksszal töltött aknás kemence alsó részébe adagolják. A metallurgiai folyamatokhoz szükséges energiát 3 plazmaégető biztosítja. A vasolvadékot bugákba öntik. A fémgőzként eltávozó cinket, ólmot és kadmiumot a véggázból választják le, ólomolvadékos kondenzátorban [4].

Az angol Tetronics cég áthúzott íves plazmaégetőjét főként cink-tartalmú **acélgyártási szállóporok** feldolgozására használják üzemi körülmények között: Florida Steel (6500 t/év, P=2 MW) és Nucor-Yamato Steel (10000 t/év, P= 3 MW). A cink egy részét dúsított ZnO por, másik részét fém cink formájában nyerik ki. A Florida Steel-nél egy tonna, 25 % cinktartalmú por kezeléséhez 0,2 t szenet és 1534 kWh villamos energiát (üzemeltetési költség legnagyobb része) használnak fel. A cink-kinyerés hatásfoka 95 %. A technológia 15 % cinktartalom felett válik gazdaságossá [4].

A svájci Moser-Glaser cégnél 1990 óta működő Plasmarec technológiával szintén **EAF szállóport** dolgoznak fel. Különösen hatásos nagy nikkkel, króm és molibdén-tartalmú porok esetében, amelyekből újra felhasználható fémötvözeteket és üveges salakot állítanak elő. A fémkihozatok a következők: nikkkel, molibdén és vas esetében minimum 98 %, krómnál pedig 92 %-nál nagyobb [4].

### 6.2.3.6. A SZAKIRODALMI TAPSZTALATOK RÖVID ÖSSZEGZÉSE

A szakirodalom alapos tanulmányozása – folyóiratok, kiadványok és internet – során nem találtunk olyan tanulmányt, amely a **vörösiszap** illetve az **érc tartalmú meddőhányók** plazma-technológiával történő feldolgozásával foglalkozott volna.

A használt **gumiabroncsok** újrahasznosítási lehetősége vonatkozásában egy ígéretes lehetőséget jelent a korom töltőanyag lehető legnagyobb mennyiségben történő újrahasznosítása (közepes minőségű ipari korom). Az így előállított korom csak alacsony minőségű fél-aktív töltőanyagként () hasznosítható. A kapott termék további feldolgozásával – savas és lúgos mosással, hamutlanítással - kiváló minőségű korom állítható elő.

A technológia további előnye, hogy értékes gáz állítható elő 3 Nm<sup>3</sup>/kg kihatással, amelynek fűtőértéke: 9MJ/Nm<sup>3</sup>. A keletkezett gázból, kazánban vagy gázmotorban történő elégetéssel elektromos energiát állítunk elő.

**Települési szilárd hulladék (MSW)** a legnagyobb anyagáram, amelyet hagyományosan hulladéklerakókban helyeznek el. Azonban a korlátozott hulladéklerakó kapacitás szükségessé teszi a térfogat csökkentő eljárások alkalmazását. Az égetés, a hulladék fűtőértéke miatt, egy széles körben alkalmazott módszer, azonban nem nyújt teljes körű megoldást az ártalmatlanításra.

A plazmával végzett elgázosítás az egyetlen kipróbált eszköz arra, hogy:

- elbontsák a kátrányokat,
- megakadályozzák a kokszolódási maradványok hamuba való kerülését,
- ne termeljenek toxikus hamut,
- elegendő hőt termeljenek ahhoz, hogy bármiféle hulladékot elgázosíthassanak,
- minimalizálhassák a füstgázok kémiai energiaveszteségeit,
- bármilyen energiaforrást felhasználhassanak,
- megszüntessék a dioxinképződést,

Az MSW plazmával való kezelése a pirolízishez hasonló folyamat mely 3000 és 6000 °C között megy végbe, ahol is a szerves anyagok szintézisgázzá alakulnak át, miközben a szerves anyagok közetszerűen megszilárdult anyagok képeznek. A képződött szintézisgázokat, melyeket újabban syngázoknak (syngas) is nevezik főleg CO-ból és H<sub>2</sub>-ből állnak. A plazmakonverterben levő gázok a magas hőmérsékleten a termodinamikai egyensúlynak megfelelő gázösszetételt alakítják ki.

A szilárd hulladékban levő szerves anyagok üvegesen dermedő salakká alakulnak át melyek főleg szilíciumdioxid és fémoxidok képeznek. A képződő szintézisgázokat gőzfejlesztésen keresztül áramtermelésre használták, míg a salakokat az útépitésben tudták felhasználni. Érdeemes megjegyezni, hogy 1 t MWS-re 500 kWh felhasználás jutott, de az általános fejlődésnek köszönhetően az energiafelhasználás 200 kWh-ra csökkent. Az üvegesített salak tömege 400 font volt.

Összefoglalva megállapítható, hogy a plazma-technológia egyrészt azokban az esetekben alkalmazható előnyösen, ahol a lerakás nehézkes vagy nem megoldható, ahol a lerakási díj magas és ahol a szigorú emissziós határértékek az égetésen alapuló kezeléseket drágává

teszik. Ez elsősorban a veszélyes hulladékokra áll fenn, különösképpen az alacsony aktivitású nukleáris hulladékokra.

Más hulladékkezelési technológiákkal összehasonlítva, a plazma eljárás legfőbb előnyei a következők:

- kevesebb a kibocsátott füstgáz,
- a legtöbb esetben magasabb mértékű térfogatcsökkenést érhetünk el,
- kisebb helyigénnyel és alacsonyabb beruházási költségek árán építhetjük az üzemet adott feldolgozó-képességhez,
- valamint gyorsabb indítási és leállási idővel rendelkezik.

A szerves összetevők plazmával történő pirolízise, valamint a szervesetlen anyagok vitrifikációja és térfogatcsökkentése bizonyított hulladékkezelési alternatívák.

A legszélesebb körben elfogadott plazmafelhasználás a hulladékkezelés területén a hulladék égetőműi pernyének vitrifikálása, amely során egy veszélyes hulladékot immobilizálhatunk a plazma-kezeléssel.

Gazdasági megfontolásból a különböző technológiák kombinált alkalmazását célszerű követni, ahol a magas kezelési költségeket egy értékes melléktermék előállításával kompenzálhatjuk. Jó példát szolgáltat erre a szintézisgáz termelése, amelyből elektromos energia állítható elő.

## Irodalom

1. Bratsev A. N., Popov S. V., Shtengel S. V., Rutberg A. P.: Some aspects of development and creation of plasma technology for solid waste gasification. High Temp Mater. Process 10 pp. 549-56 2006.

[14] Bacon M.: Plasma assisted sludge oxidation. Proc. 17 th Int. Symp. Plasma Chemistry – Industrial Workshop (Toro[1] Joachim Heberlein and Anthony B. Murphy: Thermal plasma waste treatment. Topical review. Journal of Physics D: Applied Physics. 41 (2008) 20pp

[2] K. Ramachandran, N. Kikukawa: Plasma in-flight treatment of electroplating sludge. Vacuum Surface Engineering, Surface instrumentation & Vacuum technology 59 (2000) pp. 244-251.

[3] Yu-Ling Wei, Yong-Yang Lin, Jing-Qiang Yang, H. Paul Wang, Tung-Li Hsiung: Effect of plasma treatment on Ni molecular environment in a spent catalyst and plating sludge. Journal of Electrin spectroscopy and Related Phenomena 156-158 (2007) pp. 232-235.

[4] Szépvölgyi János és Mohai Ilona: Veszélyes hulladékok kezelése termikus plazmában I-II. MKL 1999. 54. évfolyam 11. szám pp. 518-525, 597-603

[5] Dimon Sándor: A plazma kohászati alkalmazása. Bányászati és Kohászati Lapok, Kohászat 116. évf. 11. szám 1983. pp. 481-482.

- [6] Joseph M. F., Barton T. G.: Pyrolysis of hazardous waste with a mobile plasma arc system. Management of Hazardous and Toxic Wastes, Elsevier Applied Science Amsterdam, 1987.
- [7] Westinghouse Plasma System 2006  
<http://www.westinghouse-plasma.com>
- [8] Dighe S: Westinghouse Plasma Systems, personal communication 2007.
- [9] Hacala A.: High power non transferred arc plasma torch applications. Proc. Thermal Plasma Fundamentals and Applications, Sharm el Sheikh, Egypt 2007.
- [10] Blary F., Rollin M.: Vitrification of asbestos wastes. Proc. Int. Symp. On Environmental Technologies: Plasma Systems and Applications pp141-8 1995.
- [11] Hanus G. J., Springer M. D.: Plasma thermal destruction and recovery treatment of PCB-contaminated liquids and solids. Proc. Int. Conf. Incineration and Thermal Treatment Technologies (USA)2007.
- [12] Rutberg P., Bratsev A. N., Ufimtsev A. A.: Plasmochemical technologies for processing of hydrocarbonic raw material with syngas production. High Temp. Mater. Process 8 pp. 433-45 2004. (nto, Canada) 2005.
- [15] Wolf C. J., Heanley C. P., Cashell P. V.: Plasma arc system for vitrification of LLRW. Proc 19th US Department of Energy Low-Level Radioactive Waste Management Conf. (Salt Lake City, USA) pp. 1998.
- [16] Batdorf J.: Integrated Environmental Technologies, personal communication 2007.
- [17] Drouet M. G.: High temperature processes for industrial waste treatment and valorisation. Proc. Int. Workshop on Plasma Technologies for Hazardous Waste Destruction (Como, Italy) pp. 77-88. 1992.
- [18] Chapman C. D., Cowx P. M.: Tetronics process for treatment of electric arc furnace dust. The Steel Times 219 pp 301-4 1991.
- [19] <http://www.scanarc.se>
- [20] Edward Behm, Matthew Gross, Dan Quesenberry, & Dan Viperman: In Situ Vitrification. Spring 1997.
- [21] Bodurow et al.: Plasma Arc Treatment of Municipal and Hasardous Wastes. Georgia Institut of Technology. Georgia Tech Research Int.
- [22] [www.environment.gov.au](http://www.environment.gov.au)
- [23] [www.p2pays.org/ref/26/japan/Waste-137.html](http://www.p2pays.org/ref/26/japan/Waste-137.html)
- [24] [www.prevenzioneonline.net/amianto](http://www.prevenzioneonline.net/amianto)

[25] [www.europlasma.com](http://www.europlasma.com)

[26] Gary C. Young, Ph.D.: Zapping MSW with Plasma Arc. Conference An economic evaluation of a new technology for municipal solid waste treatment. December 1, 2006

[27] Huang H, Tang L, Wu C. Z.: Characterization of gaseous and solid product from thermal plasma pyrolysis of waste rubber. *Environ Sci Technol* 2003;37(19):4463–7.

[28] Piskorz J., Majerski P., Radlein D., Wik T., Scott D. S.: Recovery of carbon black from scrap rubber. *Energy Fuels* 1999;13:544–51.

[29] Chang JS, Gu BW, Looy PC, Chu FY, Simpson CJ. Thermal plasma pyrolysis of used old tires for production of syngas. *J Environ Sci Health* 1996;A31:1781–99.

[30] Thompson W.: Bevezetés a plazma fizikába. Budapest, 1970.

[31] Hédai L.: Plazma berendezések működése és kezelési leírása. Ívfény, indukciós és kapacitív plazmák. ALUTERV-FKI tanulmány. Budapest, 1990.

[32] Schubert, H.: Aufbereitung fester mineralischer feststoffe. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig, 1983