



Hadabásné Szigethy Györgyi

# Egyéb hulladékkezelési folyamatok



A követelménymodul megnevezése:  
**Hulladékgazdálkodó feladatok**

A követelménymodul száma: 1217-06 A tartalomelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-011-50



## EGYÉB HULLADÉKKEZELÉSI FOLYAMATOK

### ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Az egyes folyamatok, tevékenységek eredményeként keletkező hulladékok különböző tulajdonságokkal rendelkeznek, ezért kezelésükre is számos megoldás, alkalmazás létezik. A különböző eljárások ugyanazt a célt kell, hogy szolgálják: a környezet védelmét a hasznosítható anyagok kinyerésével és a legmegfelelőbb ártalmatlanítási eljárás kiválasztásával. Milyen eljárások alkalmazhatók az egyes esetekben? – ennek megismeréséhez nyújt segítséget ez az útmutató.

### SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

#### HULLADÉKAPRÍTÓ BERENDEZÉSEK FAJTÁI, ALKALMAZÁSUK

##### 1. Finom-és durvaaprítás gépei, a berendezés kiválasztásának feltételei különböző hulladék kategóriáknál

A hulladékok aprításának célja az anyag olyan állapotának elérése, amely a hasznosítható elemek kiválasztását és a további kezelési műveletek elvégzését segíti. Az aprítást általában a hulladék további kezelésre, hasznosításra történő előkészítése során alkalmazzák.

Az aprítás módszerei lehetnek:

- mechanikai,
- termikus,
- száraz eljárás,
- nedves eljárás.

A hulladékaprítás történhet: vágással, őrléssel és töréssel, ezért a berendezések a legkülönbözőbb szerkezeti kialakítással készülnek.

A hulladékkezeléshez alkalmazott mechanikus aprítógépek:

- durva aprítás: 100 – 150 mm szemcseméretet eredményez
  - hidraulikus vágóollók
  - ütköztető-törők

- hengeres-törők
- pofástörők
- finom aprítás: 10 – 12 mm szemcseméretet eredményez
  - vágómalmok
  - koptatómalmok
  - röpítő-malmok
- A szennyvíztisztítás során a rácsszemét finom felaprítására:
  - kalapácsod aprító
  - aprító-rács (komminutor)
  - aprító szivattyú

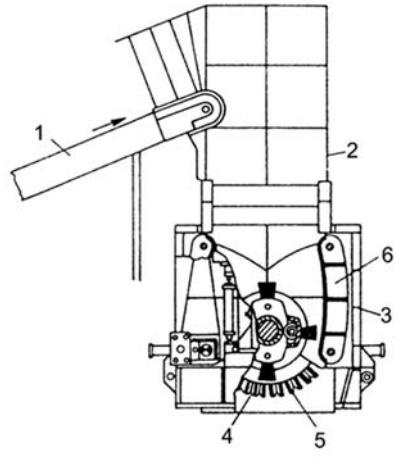
Az, hogy az egyes esetekben melyik módszer és/vagy milyen berendezés alkalmazása célravezető az illető hulladék minőségétől függ.

Az adott feladatra legalkalmasabb géptípust nagyon körültekintően kell kiválasztani, megnyugtató módon ez gyakran csak elővizsgálatokkal és aprítási próbákkal oldható meg. A **berendezés kiválasztásakor** figyelembe kell venni a beadagolandó hulladék nedvességtartalmát, hőmérsékletét, keménységét, darabosságát, ill. szemcseméret-eloszlását, valamint hogy milyen további kezelést kíván, ill. hogy mekkora méretcsökkenést akarunk elérni vele (aprítási fok).

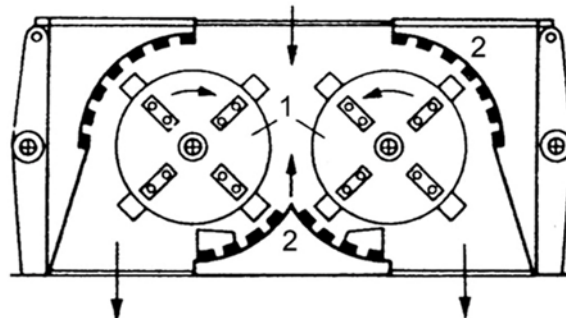
Jellemző tulajdonságok	Hulladékfajták	Alkalmazott aprítógép típusok	
1. Kemény és közepesen kemény, erősen koptató	Ásványi maradék, üveghulladék, építő- és építőanyag-ipari hulladék	Durva-aprításhoz:	pofás törők, kúpos törők, hengeres törők
		Finom-aprításhoz:	kalapácsmalmok, koptatómalmok
2. Kemény és közepesen kemény, koptató	Fémhulladék(öntvényhulladék forgácshulladék, kábelhulladék)	Durva-aprításhoz:	ejtőművek, hidraulikus vágóollók, ütköztető és hengeres törők
		Finom-aprításhoz:	kalapácsmalmok, vágómalmok, koptatómalmok
3. Közepesen kemény és lágy, rostos, rugalmas	Papír-, textil-, bőr-, műanyag-, fa- és gumihulladék	Durva-aprításhoz:	kalapácsmalmok, vágómalmok, vágóművek
		Finom-aprításhoz:	kalapácsmalmok, vágómalmok, vágóművek, ütőcsapos malmok, koptatómalmok, koptatómalmok
4. Az 1-3. csoport minden anyagfajtája együttesen és különböző arányokban előfordulhat	Kommunális és kevert ipari szilárd hulladék	Durva-aprításhoz:	hidraulikus vágóollók, ütköztetőtörők, hengeres törők

		Finom- aprításhoz:	kalapácmalmok, vágómalmok, vágóművek, koptatómalmok
--	--	-----------------------	---

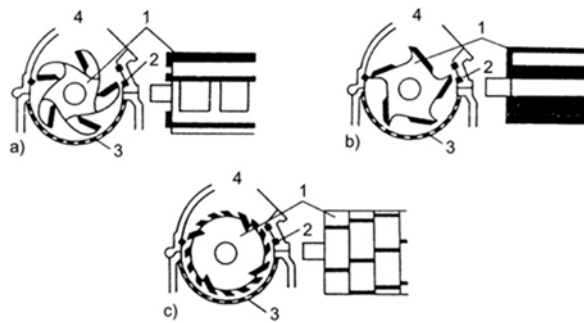
Tájékoztató a hulladékaprítók kiválasztásához (dr. Barótfi István: Környezettechnika Mezőgazda Kiadó 2000.)



1. ábra. Egyrotoros kalapácsos aprító kialakítása (dr. Barótfi István: Környezettechnika Mezőgazda kiadó 2000.) – Mezőgazda kiadó 2000.) – 1. anyagfeladás; 2. töltőgarat; 3. merevített ház; 4. kalapácsok; 5. pálcás rostély; 6. hidraulikusan

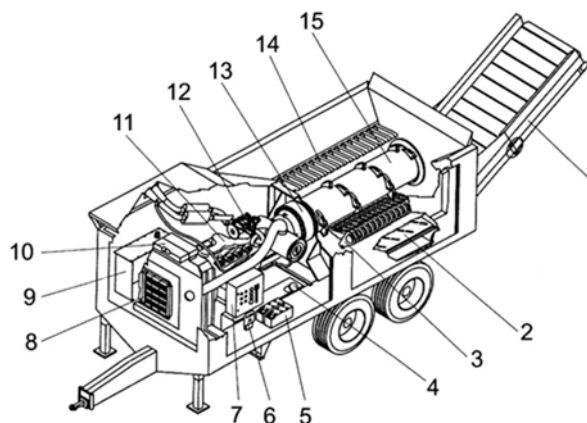


2. ábra. Kéttrotoros kalapácsos aprító kialakítása (dr. Barótfi István: Környezettechnika Mezőgazda kiadó 2000.) – 1. forgórész kalapácsokkal; 2. hornyolt törőlemezek



3. ábra. Vágómalmok kialakítási változatai (dr. Barótfi István: Környezettechnika Mezőgazda kiadó 2000.) a) nyitott forgórésszel; b) zárt forgórésszel; c) hengeres zárt forgórésszel, lépcsőzetesen elhelyezett késekkel – 1. forgórész vágókésekkel; 2. állókés

A hulladékaprítók a feladat jellegének megfelelően készülnek telepített és mobil kivitelben. A következő ábrán egy korszerű mobil aprítóberendezés vázlata látható.



4. ábra. Mobil aprítóberendezés vázlata (dr. Barótfi István: Környezettechnika Mezőgazda kiadó 2000.) – 1. kihordóheveder; 2. alsó szállítóheveder; 3. törő-aprítófogak; 4. gázolajtartály; 5. akkumulátor; 6. áramszabályozó; 7. vezérlőszekrény; 8. olajhűtő; 9. hidraulikatartály; 10. víztartály hűtőhöz; 11. meghajtomotor; 12. hidraulika szabályozás; 13. tengelykapcsoló; 14. álló tépőfogak; 15. horizontális aprítódob tépőfogakkal

Egyes hulladékok esetében a hidegaprításos eljárás a célravezető. Ennek során általában folyékony nitrogénnel alacsony hőmérsékletre ( $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) lehűtik a többkomponensű hulladékot, majd a rideggé vált anyagot (pl.: gumi, műanyag kábelhulladék) kalapácsos aprítóban vagy röpítőmalmokban aprítják.

## 2. Vibro- és dobrosták kialakítása, alkalmazása

A rostálás célja a méret szerinti osztályozás, a durva és finom szemcsék szétválasztása.

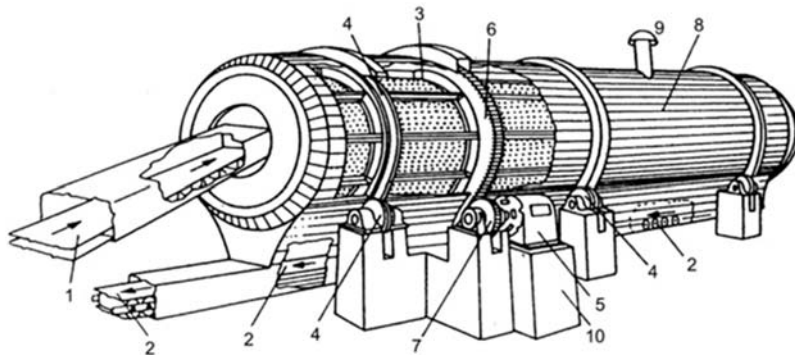
A hulladékkezelés, feldolgozás során:

- forgó dobrostákat,



- vibrációs síkrostákat,
- hullámzó felületű lengőrostákat alkalmaznak.

A rostafelület lehet drótszövet, perforált lemez és pálcás megoldású. A finomabb osztályozási feladatokhoz drótszövetet használnak, a perforált lemezes rostafelületet és a pálcás kialakítást inkább a durvább osztályozási feladatoknál alkalmazzák. A berendezés megfelelő működésének feltétele a megfelelő állapotú rostafelület, a tisztításának rendszeres elvégzése.



5. ábra. Telepített forgó dobrosta kialakítása (dr. Barótfi István: Környezettechnika Mezőgazda kiadó 2000.) – 1. anyagfeladás; 2. tisztított anyag kihordása; 3. rostafelület; 4. támgűrű; 5. hajtómű; 6. fogaskoszorú; 7. fogaskerék; 8. védőburkolat; 9. poros levegő elszívása; 10. alapozás és támasztógörgők

A vibrációs rosták különösen jól használhatók nedvesüzemben, amelynek során az adott hulladék mosási-tisztítási feladatai a rostálásra is alkalmas berendezésben végezhetők.

Az adott célra legmegfelelőbb berendezés kiválasztásához ismerni kell:

- a hulladék fizikai jellemzőit (pl. méret, alak, sűrűség, folyási tulajdonságok, hőmérséklet, nedvességtartalom),
- az adagolás átlagos és legnagyobb sebességét,
- az osztályozandó anyag szemcseméret-eloszlását,
- a végtermék megkívánt méreteloszlását, valamint
- a kapcsolódó technológiai folyamat meghatározó jellemzőit (az elérni kívánt célokat és feladatokat, nedves-vagy szárazrostálás szükségességét, a kapcsolódó berendezések paramétereit, üzemidőt stb.). Az adott feladatra legalkalmasabb rostatípus és -kapacitás kiválasztásához többnyire előzetes kísérletre van szükség.

### 3. Biohulladékok aprításához alkalmazott aprítógépek és kiválasztásuk

A biohulladékok előkészítésének célja, hogy a komposztálás mikrobáinak optimális feltételeket biztosítsunk a lebontási folyamat megindulásához. Ennek első lépése a nagyobb nyersanyagok aprítása, amivel a mikroszervezetek számára rendelkezésre álló felület megnöveljük, ugyanakkor ennek eredményeként a hulladék térfogata lecsökken. Optimális esetben az aprítékban a durva és finom frakció eloszlása egyenletes. A durva darabok adják a komposztálandó anyag struktúráját, szerkezetét.

Aprításra alkalmazható gépek:

- kalapácsos ütő aprítók – fás, nagy átmérőjű anyagok aprítására
- késes aprítók – kisebb fák, cserjék aprítására
- csigás aprítók – könnyen aprítható, több komponensű anyagok kezelésére
- hengeres, poligonos törők – finomabb aprítás előkészítésére szolgáló berendezések;
- rostaköpenyes aprítók (a rostaköpeny opcióként kérhető a kalapácsos és hengeres törők mellé)

### HULLADÉKTÖTMÖRÍTŐ BERENDEZÉSEK MŰKÖDÉSI ELVE

#### 1. Agglomerálás, regranulálás és pelletizálás alkalmazása, folyamata, berendezései

A hőre lágyuló műanyag hulladék agglomerálása és regranulálása, valamint az aprított szerves hulladék pelletizálása az anyag darabosítását jelenti.

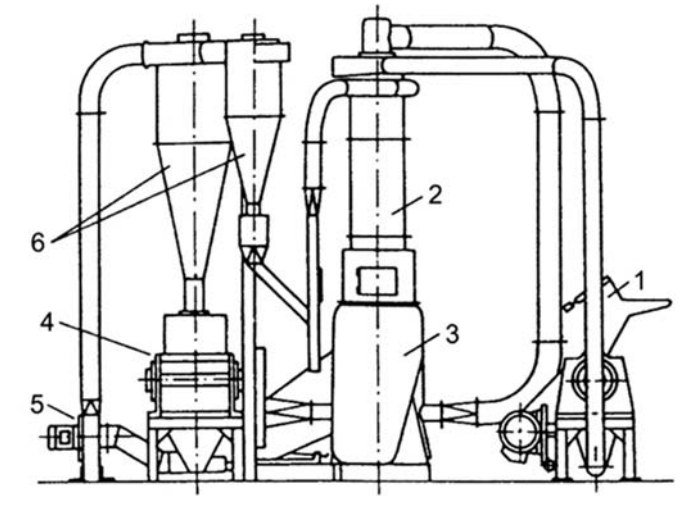
Az eljárással a finom szemcsés, aprítással előkészített szilárd hulladékból préssel, sajtolással vagy termikus módszerrel nagyobb, szabályos vagy szabálytalan szemcséket állítanak elő, amely a további kezelést megkönnyíti.

Az agglomerációs és a regranuláló eljárások a különféle poliolefin anyagú, előzetesen osztályozott (típusazonos) és legfeljebb kismértékben szennyezett műanyagfólia-hulladék kezelésére alkalmasak.

Az agglomerációs eljárásoknak két alapszabványos megoldása ismeretes: a tárcsás tömörítővel és a vágó-tépő malommal való agglomerálás. A technológia fő műveletei az előaprítás, az agglomerátum előállítás és az utóaprítás. Az agglomerátumot extruderen dolgozzák fel (regranulálás).

Az agglomerációs eljárás kiválasztása a feldolgozásra kerülő anyag jellemzői alapján történik (pl.: milyen a hőre lágyuló műanyag hulladék típusa, formája, szennyezettsége, milyen tulajdonságú lesz a termék és szükség lesz-e további feldolgozásra).

A vegyes és szennyezett műanyag hulladék számára több olyan eljárást fejlesztettek ki, amelyek a műanyagot nagy nyírófeszítéssel rövid idő alatt melegítik fel a kilágyulási hőmérsékletre, majd az ömledéket gáztalanítás után nyomás alatt formázzák (Reverzer-eljárás, Remaker-eljárás, Klobbie-eljárás, Flita-eljárás stb.). Az eljárással számos termék készíthető, mint pl.: raklapok, csövek, kábeldobok stb.)

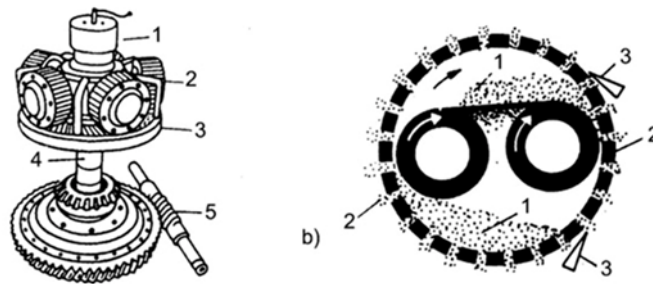


6. ábra. Agglomeráló gépcsoport felépítése (dr. Barótfi István: Környezettechnika Mezőgazda kiadó 2000.) – 1. előaprító vágómalom; 2. adagolótartály; 3. csigás adagológómű és tárcsás tömörítőgép; 4. utóaprító vágómalom; 5. ventilátorok; 6. leválasztó ciklonok

A szerves szilárd hulladékok darabosítási eljárása a pelletizálás.

Az aprítással, osztályozással és szárítással előkészített szerves szilárd prézelését az ipar egyéb területein alkalmazott berendezésekhez hasonló gépekkel végzik. A prések zöme gyűrűs matricával és egy, két, három, ill. négy présgörgővel, ritkábban síkmatricával és kúpos, vagy hengeres Koller-járatokkal van felszerelve. A pelletizálás előfeltétele egyrészt az anyag megfelelő méretre aprítása, másrészt a szükség szerinti tisztítása és osztályozása (viszonylag homogén, finom szemcsés anyag elérése), valamint a megfelelő nedvességtartalom beállítása.





7. ábra. Pelletizálóprések elve (dr. Barótfi István: Környezettechnika Mezőgazda kiadó 2000.)  
 – a) négygörgős matricával dolgozó prés kialakítása (ház nélkül) 1. hidraulikus görgőnyomás szabályzó; 2. görgők; 3. főtengely; 5. csigahajtómű b) kétgörgős gyűrűs matricával dolgozó prés elve 1. pelletizálandó anyag; 2. gyűrűs matrica présfuratokkal; 3. vágókések

A végtermék szemcsealakja rövid hengerre hasonlít, térfogattömege 1-2 g/cm<sup>3</sup>. A pelletizálás a kezelendő hulladéktól függően adalékanyag (kötőanyag) bekeverésével vagy anélkül, esetenként nagyobb hőmérsékleten megy végbe. Némelykor elegendő a megfelelő víztartalom beállítása, máskor a hulladékhoz kötőanyagot (pl. olajat, gyantát) is kell adni. A pelletizálással nemcsak a hulladék további felhasználása könnyíthető meg, hanem jelentősen csökkenthető az anyagmozgatással járó porzási vesztesége és ennek kedvezőtlen hatásai. Továbbá megakadályozható, hogy az anyag tároláskor összeálljon és hogy szállításkor rétegeződjék.

A pelletizálást a hulladékból történő takarmány-és tüzelőanyag-előállítás esetén használják.

## 2. Bálázás és brikettálás folyamata, gépei

A tömörítés során a laza állapotú hulladékokat a lehetőség szerinti legkisebb térfogatra préseljük össze.

A művelet célja egyrészt a kisebb költséggel járó tárolás és szállítás, másrészt a hulladékok előkészítése a további feldolgozáshoz.

**Bálázásról** beszélünk, ha a tömörítést kötőanyag nélkül, megfelelő mértékű nyomóerővel végzik.

A bálázást viszonylag homogén összetételű hulladékok tömörítésére alkalmazzák, mint papír-, textil-, műanyag-, fa- és esetleg fémhulladékok.



8. ábra. Bálázógépek

**Brikettálás** során az aprítással előkészített anyag tömörítésekor kötőanyagot is alkalmaznak.

A brikettálást például fém- és faforgács hulladékok, mezőgazdasági hulladékok feldolgozásánál alkalmazzák.



9. ábra. Briketálással kezelt hulladékok

A briketálás folyamata mezőgazdasági melléktermékből:

- Aprítás: során a nyersanyagot 1 - 6mm-es darabokra aprítják.
- Szárítás: A biobrikett-gyártás céljára igen alacsony (9 - 15 %) nedvességtartalmú melléktermékek vehetők számításba.
- Tömörítés: A présgépek legfontosabb részegységei a présfej, a tömörítést végző szerkezeti elemek (a csiga, görgő vagy dugattyú) és a prэшüvely, melynek kiképzése, kúposága és a présfej hűtése vagy fűtése meghatározó az optimális préselési nyomás és hőmérséklet kialakulása szempontjából. A prэшüvely kialakításán kívül az alapanyag nedvességtartalma van jelentős befolyással az elvárható adhéziós tapadás kialakulására.

A briketálási eljárás során a présben a 800 kg/cm<sup>2</sup> feletti nyomás és annak révén kialakuló 80-150 °C hőmérséklet hatására jön létre az apríték részecskék összetapadása, és megjelenik a gépből kijövő 60-80 °C hőmérsékletű energetikai brikett, mely természetes úton hűl le.

Az így kapott anyag térfogata tízszer kisebb lesz, mint az anyag eredeti állapotban, fajsúlya 800-1200kg/m<sup>2</sup>, nedvessége 13 - 15%, hő értéke 16.000 - 18.500 KJ/kg, amely a barnaszénével vetekszik.

## HULLADÉKFÁZIS-SZÉTBONTÁS MÓDSZEREI

### 1. Nem egyfázisú (iszap, zagy, emulzió) hulladékok fázisszétválasztásának folyamata, berendezései

A nem egyfázisú hulladékok (iszapok, zagyok, emulziók) feldolgozását megelőző előkészítésére, valamint térfogat csökkentésére alkalmazzák a fázis-szétválasztási eljárásokat. A módszerek különösen hatékonyak akkor, ha az elválasztandó (pl. a veszélyes) komponens alapvetően csak az egyik fázisban van jelen. A fázisszeperálás az adott komponensek koncentrációját eredményezi. Leginkább az ülepítés és szűrés, ritkábban a centrifugálás és a flotálás használatos. Az iszap-víz-telenítési eljárások fázisai a szűrés és centrifugálás. Új módszer a fagyasztva kristályosítás. Az emulziók megbontását kémiai módszerekkel végzik.

Ülepítés során a szilárd-folyékony rendszerek szétválasztása sűrűségkülönbség alapján történik. Az ülepítés során a folyadékban lebegő, a folyadék sűrűségénél nagyobb sűrűségű szemcséket vagy pelyheket választjuk le gravitációs erőterben.



10. ábra. Ülepítés elvi sémája

Az ülepítést széles körben alkalmazzák a szennyvizek, csapadékvizek, felszíni vizek lebegőanyag-tartalmának csökkentésére és az ülepítéskor keletkező iszap szárazanyag tartalmának növelésére.

A 0,1–0,2 mm-nél nagyobb szemcseméretű anyagok esetén az ülepítőket homokfogóknak, míg az ennél kisebb szemcseméretű anyagok esetén ülepítő tartálynak vagy ülepítő medencének nevezzük.

Álló közegben, szakaszosan végrehajtott ülepítés legegyszerűbb berendezése az ülepítő tartály. A szuszpenziót (vagy emulziót) a tartályba töltjük, majd magára is hagyhatjuk. Adott idő eltelte után felül helyezkedik el a kitisztult folyadék, a középső rétegben van az ülepedő szuszpenzió, alul pedig az üledék (iszap).

A hosszanti átfolyású medencék általában téglalap keresztmetszetűek (Lipcsei-típusú ülepítőmedence). A medencébe érkező szennyvíz egyenletes elosztását vályú biztosítja. A medence fenekén összegyűlő iszap eltávolítása az iszaptölcséren keresztül valósítható meg, ahová azt a folyamatos működésű kaparólemezek tolják be.

A centrális betáplálású, sugárirányú átfolyású (Dorr-típusú) ülepítő medencék henger alakúak, amelyek fenekét kúposan képezik ki. Átmérőjük a 30 m-t is elérheti, mélységük pedig 4 m is lehet. A medence közepén lévő kis hengeres térbe vezetett szuszpenzió sugárirányban a medence pereme felé áramlik. Az ülepítőből a tisztított folyadék túlfolyással, a peremen kialakított körkörös csatornán át távozik. A diszperz részecskék a vékony, lassan áramló folyadékrétegből az álló folyadékrétegbe, majd a berendezés aljára ülepednek. A kúpos részben összegyűlő üledéket körpályán lassan mozgó terelőlapátok (iszapkotró) továbbítják az iszapleeresztő vezetékhez.

Kisebb ülepítőtér fogat esetén a függőleges átfolyású, ún. Dortmundi-medencét használják, amelyek térfogata a 100 m<sup>3</sup>-t általában nem haladja meg. A medence közepén elhelyezett ejtőcsőben a lefelé mozgó víz megkerüli az a cső alsó peremét, majd az ülepítőtérbe jut, ahol már felfelé áramlik, végül a kitisztított folyadék a túlcsonduló élen átbukva távozik. A medence alsó, kúpos felületén az iszap lecsúszik a tölcser legmélyebb pontjára, ahonnan iszapelvezető csövön át eltávolítható.

### Szűrés

A szűrésnél alkalmazott rács a nagyobb átmérőjű, nagyobb térfogatú, úszó tárgyak visszatartását hivatott elvégezni.

A különféle nagy felületű vékony tárgyak (fóliák) valamint a falevelek víztől való elválasztását nagyon jó hatásfokkal valósítják meg a szitaszűrők.

Desztillációval kezelhető minden olyan iszap és zagy, amelyik elpárologtatható folyékony fázist (vizet, oldószereket) tartalmaz. A desztilláció alkalmazásával egyes hasznosítható összetevők visszanyerhetők (pl. oldószer), ezért a technológia egyben hulladékhasznosítást is jelenthet. Az olaj-víz keverékek egyszerűbben, az emulziók általában körülményesen bonthatók meg.

### Fázisválasztás adhézió alapján



Az adhézios eljárás a keverékek eltérő sűrűségét használja ki. Az olaj-víz keverékek esetében a legegyszerűbb olajfölfelőző berendezésekben a víznél kisebb sűrűségű olaj a gravitáció hatására felúszik. Lényegesen jobb elválasztási hatások érhető el hidrociklonokban és centrifugákban. Az eltérő adhézios tulajdonságokat hasznosítják a koaleszcens eljárásokkal, amelyekben fémből vagy műanyagból kialakított felületeken filmáramlást hoznak létre akár folyadék, akár a felület irányított mozgatásával. Az utóbbi megoldások elterjedtebbek. Ezekben fém- vagy műanyag szalagokat merítenek a víz-olaj keverékébe. A szalagról a víz visszafolyik, az olajcseppek az oleofil műanyagfelületen összefüggő filmet alkotnak és a szalaggal együtt távoznak.

### Flotáció

A flotációs eljárás alapja az, hogy az emulzió átburkolatott gáz olajcseppeket ragad magával, amelyek a folyadék felszínén külön fázist alkotnak. Mivel a gázbuborékok mérete meghatározó a folyamat szempontjából, különböző módszereket alkalmaznak a minél finomabb eloszlású gázbuborékok előállítására (elektrolízissel, szakaszos gázbefúvással, oldott gázok felszabadításával). Az emulziók zöme „olaj a vízben” típusú emulzió, amely számos adalékanyagot (emulgeátort, korróziógátló és baktericid adalékot stb.) tartalmaz. Az ilyen emulziók bontására az előző módszerek nem alkalmasak. A használatos megoldások: fizikai eljárások (membránszűrés, adszorpció, termikus bontás) és fizikai-kémiai eljárások (kiszűrés, savas bontás, flokkuláció).

### Ultraszűrés

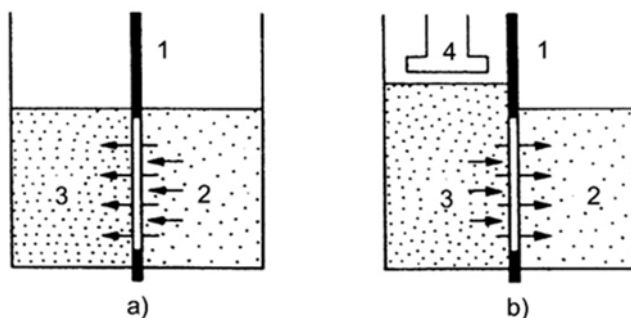
A membránszűrés eljárással: ultraszűréssel, fordított ozmózissal az emulzióból eltávolítják a vízben oldott emulgeátorokat.

Az ultraszűrés során az emulziót 0,01  $\mu\text{m}$  pórusméretű membránon 2-10 bar nyomással préselik át: a kis vízmolekulák a membránon átmennek, a nagyobb olajmolekulák visszamaradnak. A membrán eltömődését a folyadék turbulens áramlása akadályozza meg. Az ultraszűrőegység általában cső formájú hordozóanyagból és cellulóz-acetátból, poliamidból vagy poliamidhidrazidból készült membránból áll.

A teljesítmény a membrán pórusnagyságától, az alkalmazott nyomástól, a folyadék áramlási sebességétől, a hőmérséklettől, az olajtartalomtól, valamint az olaj és az emulgeátor tulajdonságától függ. A kívánt teljesítmény több ultraszűrőegység összekapcsolásával biztosítható. A folyamat többszöri ismétlésével az emulzió eredeti 2-5%-os olajtartalma 5-60%-ra növelhető (5.45. ábra). A módszer klórozott szénhidrogéneket tartalmazó emulziók bontására nem alkalmas.

### Fordított ozmózis

A módszer működési elve a 5.46. ábrán látható. Ha egy tömény vizes oldatot féligáteresztő hártával választanak el a hígabb oldattól, a koncentráció-különbség kiegyenlítésére megindul a vízmolekulák diffúziója a hártán keresztül a töményebb oldatba és ennek következtében túlnyomás (ozmózisnyomás) keletkezik. Ha a töményebb oldatra az ozmózisnyomásnál nagyobb nyomás hat, a vízmolekulák a féligáteresztő és mechanikailag szilárd membránon keresztül a hígabb oldatba áramlanak (fordított ozmózis) és az a töményebb oldat koncentrációját növeli.



11. ábra. A fordított ozmózis működési elve – 1. féligáteresztő hártya; 2. híg oldat; 3. tömény oldat; 4. ozmózisnyomásnál nagyobb nyomás

#### Termikus emulzióbontás

A termikus eljárásokban az emulzió vizét párologtatják el, de az olaj magasabb forráspontja miatt visszamarad.

A merülőégés emulzióbontóban hulladékot az elgőzöltetőbe vezetnek, amelybe felülről nyúlik be a merülőégő. A forró füstgázok átbuborékolnak ellenáramban az emulzióval és így intenzív hő-és anyagcsere jön létre. A vízgőz mosóberendezésen, majd kondenzátoron halad át és szükség van szennyvízkezelésre is. Az elgőzöltetőből eltávolított olaj – a sók kiválasztása után – a merülőégőben tüzelhető el. Az eljárás 0,5–1 m<sup>3</sup>/h emulzió kezelésére ajánlott.

A vékony filmes elpárologtatót 5–10 m<sup>3</sup>/h emulzió termikus bontására alkalmazzák. Az elhasznált emulziót fokozatosan felmelegítik, majd az elpárologtatóba vezetik, ahol a víz gőzzé válik és az olaj az elpárologtató falán lecsorog. Lassan forgó rotor távolítja el az olajat. E berendezés esetében is szükség van az olaj sótelenítésére, a vízgőz mosására és a szennyvíz utókezelésére.

#### Kisózás, savas bontás

A kisózás és az emulziók savas bontása az anionaktív emulgeátorokkal képzett emulziók hulladékainak előkezelésére alkalmas a következő megfontolások alapján. Anionaktív emulgeátorok alkalmazásakor az olajcseppek és a víz között olyan elektromos kettős réteg alakul ki, amelyben az olajcseppek a negatív töltésű kolloid részecskék. Ha az emulzióhoz sót adagolnak, az olajcseppek negatív töltése a kationokkal végbemenő reakció következtében csökken és így csökken az azonos töltésű részecskék közötti taszítóhatás is. Többértékű kationok ( $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ) a Schulz–Hardy–szabály alapján kedvezőbbek, mint az egyértékűek.

A savas bontás hasonlóképpen magyarázható. Az emulzióbontás nagyobb hatékonyságának oka, hogy a hidrogénion mozgékonyabb, mint a fémionok.

### Flokkulálás

Elterjedten használt módszer az emulzió megbontására a flokkulálás, amelyben két eljárás összegződik: a negatív töltésű olajcseppek hozzákapcsolása a szilárd, pozitív töltésű részecskékhez, valamint ezek agglomerálása stabil, jól ülepedhető pelyhekké. Első lépésben az emulziót sók vagy savak hozzáadásával bontják és az olajat lefölözik. Második lépésben a pH-érték beállításával és sóoldat hozzáadásával fémhidroxid csapadékot képeznek, amely a maradék olajat megköti, a csapadék szűrhető.

A flokkulálás során a stabil emulziók megbontását az alábbiakkal segítik:

- a pelyhesítőanyagok adagolásával;
- átpelyhesítéssel;
- a pelyhek felúsztatásával, amit fáradt olaj hozzáadásával érnek el;
- a pelyhek felúsztatásával, amit levegős flotálással érnek el;
- elektroflotálással.

Az alkalmazható fázisbontási eljárás kiválasztásakor figyelembe kell venni a kezelendő hulladék anyagi jellemzőit, mennyiségét és a helyi adottságokat.

## HULLADÉKKOMPONENS-SZÉTVÁLASZTÁS TECHNOLÓGIÁJA

Komponens-szétválasztási műveletek anyagelőkészítési és anyagátalakítási eljárásokként is alkalmazhatók. Ezeket az eljárásokat egyfázisú, többkomponensű hulladék alkotórészeinek ionos vagy molekuláris formában, alapvetően fizikai módszerekkel való szétválasztására használják, elsődlegesen hasznosítási célból. A gyakorlati alkalmazásra megérett módszerek többsége vizes oldatok kezelésére használható.

### 1. Folyékony és iszaphulladékok komponens-szétválasztási módszerei, berendezései és alkalmazásuk

#### Oldószeres extrakció

Az oldószeres extrakciót több évtizede alkalmazzák egyes hidrometallurgiai eljárásokban, újabban azonban a szennyvizek fémtartalmának kinyerésére is. Az eljárás lényege, hogy szerves savakkal vagy komplexképzőkkel – főként kelátképzőkkel – olyan fémvegyületeket hoznak létre, amelyek megoszlása a vizes és az oldószeres fázis között az extrakció számára előnyös. A leggyakoribb kelátképzők pl. a dikarbonsavak, az aminosavak, a hidroxialdehidek, a hidroxisavak, a fenolszármazékok. Tetemes mennyiségű dokumentáció foglalkozik a színesfémek oldószeres extrakciójával.

### Ioncsere

Az ioncserélő eljárások oldatok fémtartalmának elválasztására való alkalmazása szintén hagyományosnak tekinthető. Jó eredményeket értek el a galvántechnika területén a króm, réz, kadmium, nikkel, vas és cink elválasztásában. Ilyen célra leggyakrabban erős kationcserélő gyantákat használnak, amelyek savazással regenerálhatók.

Kémiai szempontból ezek a gyanták térhálósított polisztirol vázon aktív szulfonsavcsoportokat hordoznak. Anionos állapotba hozható fémek (kromátok, bikromátok) kinyerésére aminocsoportokat tartalmazó anioncserélő gyantákat használnak. Az ioncserélő fémvisszanyerő eljárások alkalmazására intenzív fejlesztőmunka folyik, elsősorban a galvániparban és a szennyvízkezelés területén. Az ioncsere főként híg oldatok esetében (0,1%-nál kisebb fémtartalom) hatékony. Hátrányai közé sorolható kis szelektivitása, valamint érzékenysége az oldatban jelen lévő lebegőanyagokkal szemben.

### Membránszűrés

A membrános eljárások többnyire cellulóz-acetátból vagy poliamidból készített membránjai lehetnek lemez alakúak, üreges szálmembránok és spirális rendszerűek. A membránok iránti követelmények: nagy visszatartó képesség, jó szelektivitás, kémiai és bakterológiai ellenálló képesség, nagy áramlási sebesség, nagy mechanikai szilárdság, hosszú élettartam és alacsony költségek.

A membrános eljárások (főként az ultraszűrés és a fordított ozmózis) biológiai tisztítási módszerekkel kombinálva különösen hatékonyak szerves és szervetlen (fémionok) szennyező anyagokat tartalmazó szennyvizek (pl. lerakóhelyi szivárgóvizek) eredményes tisztítására. Hátrányuk, hogy a membránok érzékenyek mechanikai hatásra, korrózióra, valamint lebegőanyagok által okozott eltömődésekre.

### Desztilláció

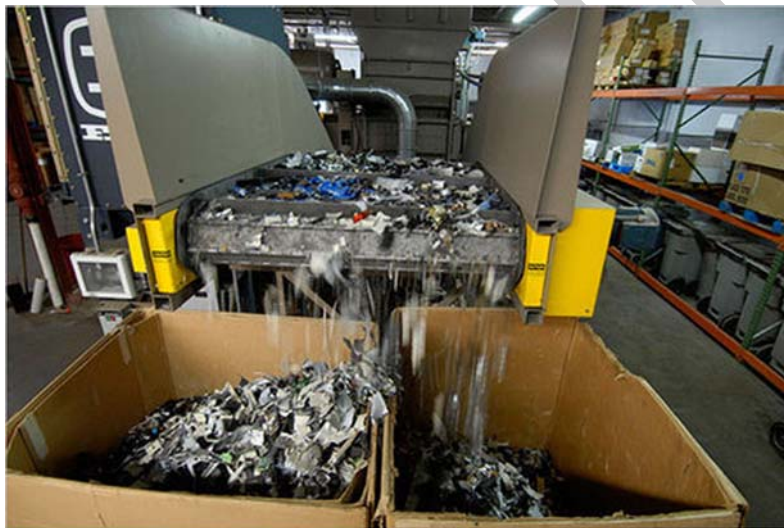
A szerves oldószerek visszanyerésére a desztillációs és bepárlási módszereket széles körben alkalmazzák. A desztilláció során a két- vagy többkomponensű folyadékelegyet hevítik és a keletkezett gőzt (gőzöket) elvezetve cseppfolyósítják. A desztillációval az egyik komponenst fel lehet dúsítani a desztillátumban, másikat a visszamaradó folyadékban és ismételt desztillációval sok esetben tetszőleges tisztasági fokig szét lehet választani az elegy komponenseit.

Az elméletileg tökéletes elválasztás csak végtelen, sokszor megismételt desztillációval lenne megoldható. A gyakorlatilag kielégítő elválasztást viszont annál könnyebben érjük el, minél nagyobb a két összetevő forráspontja közötti különbség. A gyakorlatban a sokszor ismételt desztilláció helyett folyamatos üzemben, ún. rektifikációval választják szét a komponenseket.

A rektifikáció és a deflegmáció összekapcsolásával igen nagymértékű elválasztás érhető el egyetlen desztillációs műveletben. Ez az alapja a folyamatosan működő frakcionált desztillációt végző rendszernek is, amelyben a különböző forráspontú, tehát különböző összetételű részeket gyakran külön fogják fel.

## 2. Szilárd hulladékok komponens-szétválasztási módszerei, berendezései és alkalmazásuk

A szilárd hulladékok esetében a komponensszétválasztási eljárásokat a következő területeken alkalmazzák:



12. ábra. Hulladékok mechanikai szétválasztása

- Mechanikai eljárás:
  - Papír-, műanyag-és textilhulladék szétválasztása és tisztítása
  - Szerves szilárd maradéknak a szerveslontól való elkülönítése
  - Kábel-és gumihulladék osztályozása
- Hidromechanikai eljárás
  - Szerves és szerveslont hulladékkomponensek szétválasztása
  - Műanyagkeverékek szétválasztása
  - Kábelhulladék feldolgozása
  - Fémhulladék szeparálása, dúsítása
- Nehézközegű és mágneses folyadékkal dolgozó eljárások
  - Fémhulladék szeparálása, dúsítása
- Mágneses eljárás



- Vashulladék szétválasztása, elkülönítése
- Üveg-és műanyag hulladék szétválasztása
- Flotációs eljárás
  - Üveghulladék szétválasztása
  - Műanyag hulladék szétválasztása
  - Papírhulladék festékmentesítése
- Örvényáramú és elektrosztatikus eljárás
  - Fémhulladék szétválasztása
  - Papír-, műanyagkeverékek szétválasztása
- Optikai elven működő eljárás
  - Üveghulladék szín szerinti osztályozása
- Infravörös elven működő eljárás
  - Papír-, műanyagkeverék szétválasztása

A szilárd hulladék komponens-szétválasztási módszereit széles körben használják olyan technológiákhoz, amelyek települési szilárd és ahhoz hasonló összetételű ipari hulladék energetikailag értékes, ún. könnyű alkotórészeiből brikettált vagy pelletizált tüzelőanyagot állítanak elő, valamint akkor, ha értékes másodnyersanyagokat kívánnak a hulladékkeverékekből visszanyerni.

Szilárd többkomponensű hulladékok kezelése és tisztítása történhet:

- légosztályozással
- nedvesosztályozással és
- elektromágneses elválasztással.

### Légosztályozás

A légosztályozó készülékekben a szabályozott sebességű levegőárammal osztályozzák a hulladékot szemcseméret, és sűrűség szerint. Keresztáramú és ellenáramú változatai ismeretesek.

A légosztályozókat rendszerint papír-, műanyag-és textilhulladékok nehezebb hulladékkeverékektől való elkülönítésére használják. Alkalmaskonban könnyű fémfóliák, lemezek nehezebbektől való szeparálására, továbbá szárított szerves anyagok szervesetlenektől való elkülönítésére is. Igen széles körű hasznosításuk egyik alapfeltétele - függetlenül a méret és alak szerinti elválasztást módosító hatásától - az elválasztandó anyagok közötti min. 10-15%-os sűrűségkülönbség.

A ballisztikus osztályozásnál az előkészített (aprított, rostált) hulladékot röpítő készülékkel adagolják a horizontális osztályozótérbe, amelyben az egyes komponensek a tömegük és alakjuk szerint osztályozódnak.

### Nedvesosztályozás

A nedvesosztályozók egyaránt lehetnek kereszt és ellenáramú elven működők, elválasztási és dúsítási feladatokra széleskörűen alkalmazhatók. Aprítással, rostálással, légosztályozással előkészített hulladék kezelésére alkalmasak. Szerves-szervetlen hulladékkeverékek, műanyag hulladék-keverékek, fémhulladékok, üveghulladékok stb. szétválasztására használatosak.

Az ellenáramú nedvesosztályozók a vertikális ellenáramú légosztályozókhoz hasonló elven működnek. A víz ellenáramú mozgatását szivattyú végzi. Elterjedtek a pulzációs ülepítők is, amelyek lüktető folyadékárammal és mechanikus pulzációval egyaránt működtethetők. A különböző hidrociklonokkal, spirális osztályozókkal és a kúpos úsztató-ülepítő osztályozókkal elsősorban műanyag hulladék-keveréket, fémhulladék-keveréket osztályoznak.

A nehézközegű szétválasztási technológiában nagy sűrűségű folyadékot vagy szuszpenziót használnak hulladékkomponensek – többnyire fém-és műanyagkeverékek – szétválasztására (pl. tetrabrom-etánt, ferroszilíciumszuszpenziót).

Az örvényáramú szeparátorokkal a hulladékból a nem mágnesezhető fémek (alumínium, réz, cink stb.) kinyerése és dúsítása elektromágneses erőterrel működő kamrás szeparátorral, lineáris, motor típusú szeparátorral, permanens mágnesekkel működő lap-és dobszeparátorral valósítható meg. Az automatikus válogatási módszerek jellemző eljárása az elektronikus optikai szeparálás, amelyet megfelelően előkészített vegyes üveghulladék szétválasztására használnak

Általában három fokozatban dolgoznak: először a nem átlátszó szennyező anyagokat (kő, kerámia stb.) választják el a keveréktől, majd a fehér üveget különítik el a színestől és végül a barnát a zöld üvegtől.

## OPTIKAI SZEPARÁTOROKBAN TÖRTÉNŐ HULLADÉK BEÁGYAZÁSÁNAK TECHNOLÓGIÁI

### 1. Beágyazási eljárások célja, beágyazó anyagok

A beágyazással, illetve szilárdítással a folyékony és iszapszerű veszélyes-hulladékok könnyebb kezelését, biztonságos szállítását és lerakását biztosíthatjuk. A beágyazási eljárás végterméke a környezetet már nem károsító szilárd, főleg vízzoldhatatlan anyag. A beágyazással a hulladék veszélyessége nagymértékben csökkenthető.

A hulladék beágyazása alatt értjük a hulladék:

- stabilizálását,
- szilárdítását,
- kapszulázását.

Beágyazás technológiáját általában a következő hulladékok esetében alkalmazzák:

- folyékony halmazállapotú,

## EGYÉB HULLADÉKKEZELÉSI FOLYAMATOK

- iszap halmazállapotú és
- füstgáztisztítási szilárd maradékoknál.

Beágyazás során alkalmazott anyagok:

- cementek
- mész–pernye keverékek
- hőre lágyuló anyagok
- szerves polimerek
- üvegbe ágyazás

A gyakorlatban alkalmazott beágyazási eljárások:

Módszer, eljárás	Alkalmazás
Cementalapú (betonba ágyazás)	Mérgező, szervesetlen vegyületekhez és a füstgáztisztítás szilárd és iszapmaradékaihoz
Mész-, pernyealapú	Mérgező, szervesetlen vegyületekhez és a füstgáztisztítás szilárd és iszap-maradékaihoz
Hőre lágyuló anyagok (bitumen, polietilén, paraffin, aszfalt)	Mérgező, nem oxidáló hatású szervesetlen vegyületekhez
Szerves polimerek alkalmazása	Szerves anyagokat, savakat nem tartalmazó, mérgező, nem oxidáló hatású szervesetlen vegyületekhez

A beágyazás a komplex veszélyeshulladék-kezelési technológia egyik részművelete csak.

## HULLADÉKKEZELÉS KÉMIAI ELJÁRÁSAI

### 1. Kémiai eljárások alkalmazásának célja, a kezelhető hulladéktípusok

A kémiai hulladékkezelési eljárások során a hulladék anyagi szerkezetét kémiai reakcióban vagy reakciósorozatban megváltoztatják a veszélyesség csökkentése, ártalmatlanítás vagy hasznosítás céljából.

Ezek az eljárások anyag-átalakítási feladatokat látnak el, alapvetően valamilyen kémiai reakció vagy reakciósorozat segítségével. Alkalmazásuk célja lehet kimondottan ártalmatlanítás vagy hasznosítás, azonban lehet bizonyos környezetkárosító, veszélyes komponens vagy komponensek mennyiségének, koncentrációjának csökkentése is.

## 2. A semlegesítés folyamata, berendezései, az alkalmazott semlegesítő szerek

A savas vagy lúgos hulladékok ártalmatlanítása érdekében a semlegesítés során a rendszer pH-értékét  $\text{pH} = 7$ -re állítják be. Többnyire a keletkezés helyén, más kezelési módszerekkel együtt alkalmazzák (pl. derítés, csapadékos leválasztás). A folyamat könnyen automatizálható. Az eljáráshoz általában korrózióálló bevonatú betonkádát alkalmaznak, melyet keverőkkel, terelőlemezekkel látnak el.

### Semlegesítőszer

Amennyiben savas és lúgos hulladék is keletkezik, célszerű azokat egymás semlegesítésére felhasználni. Lúgos hulladékokhoz:

- sósav (Előnye az oldható reakciótermék.),
- kénsav (Olcsóbb, de kénhidrogén is keletkezhet.), széndioxid (gazdaságos, ha füstgáz áll rendelkezésre).

Savakhoz:

- nátrium-hidroxid (Drága, de könnyen kezelhető, tárolható, gyors a reakció, oldható a végtermék.),
- nátrium karbonát (Olcsóbb, de nem elég reakcióképes, a keletkező szén-dioxid habzást eredményez.),
- égetett mész (Előzetes porítás után oltott mészé alakítva használják. Kén-savhoz alkalmazva gondot okoz a keletkező csapadék.),
- dolomit (A keletkező sók jobban oldódnak, a felszabaduló széndioxidot levegőztetéssel el kell távolítani.).

A semlegesítő szerek kiválasztásánál a semlegesítő kapacitást, a reakciósebességet, a termék minőségét és mennyiségét valamint a szer árát kell figyelembe venni.

## 3. A kicsapatás alkalmazása a hulladékkezelésben

A csapadékos leválasztás során a vízben oldható vegyületeket oldhatatlanná alakítják. Ez történhet kémiai reakcióval, vagy az oldat összetételének megváltoztatásával, amely során a vegyület oldhatósága csökken. Az eljárással elsősorban a mérgező fémeket (pl. As, Ba, Cd, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Ag, Ta) valamint egyes anionszennyezőket (pl. foszfát) csapattják ki. A vizes oldatban rosszul oldódó ionvegyületek egyensúlyi viszonyait az oldhatósági szorzattal fejezik ki.

Az oldhatóságot elsősorban a közös ion koncentrációjával befolyásolhatják. Idegen ionok is befolyásolhatják az oldhatóságot azáltal, hogy megváltoztatják az aktivitásokat. A pH-értéknek általában jelentős hatása van az oldhatóságra.

### Leggyakoribb kicsapató szerek

- **Hidroxidok:** mésztej, nátrium–hidroxid (Könnyen kezelhető, de drága).
- **Szulfidok:** nátrium–szulfid, nátrium–hidrogén–szulfid, vas(II)–szulfid. (Hátránya, hogy mérgező hidrogén–szulfid keletkezhet és a szulfid felesleg miatt a szennyvíz esetleges utókezelésére van szükség. Előnye a szulfidok kisebb oldhatósága a hidroxidokkal szemben.)
- **Karbonátok:** nátrium–karbonát. (Előnye a kisebb pH-érték és a sűrűbb, jobban szűrhető iszap. Nem alkalmazható minden fémre.)
- **Nátrium–[tetrahydro–borát]** ( $\text{Na}[\text{BH}_4]$ ): nehézfémionok elemi állapotú fém alakjában történő kinyerésére alkalmas  $\text{pH}=8\text{...}11$  tartományban.

A fémek csapadékos leválasztási módszereit elsősorban a galvániipari szennyvizek (hulladékok) kezelésére alkalmazzák. Gyakran kombinálják más tisztítási módszerekkel. Foszfátok leválasztására meszet, alumínium és vas sókat alkalmaznak.

#### 4. Vegyszeres-, nedves-és ózonos oxidáció alkalmazása a hulladékkezelésben

##### Vegyszeres oxidáció

Az oxidáció (elektronleadás) általában nem szelektív eljárás. A hulladék valamennyi komponense oxidálódik valamilyen mértékben. Lehet teljes mértékű, amikor minden komponenst a lehető legmagasabb oxidációfokig oxidálnak, de lehet részleges is.

##### Leggyakoribb oxidálószer

- Nátrium–hipoklorit ( $\text{NaOCl}$ )
- Kalcium–hipoklorit ( $\text{Ca(OCl)}_2$ )
- Hidrogén–peroxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )
- Kálium–permanganát ( $\text{KMnO}_4$ )

A vegyszeres oxidációt rendszerint szakaszosan, álló hengeres reaktorban végzik. A tartályok alapanyaga általában műanyaggal bélelt szénacél.

##### Nedvesoxidáció

Vizes fázisban lejátszódó folyamat, amelyben az anyagot magas hőmérsékleten és nyomáson oxidálják. A reakció–hőmérséklet kiválasztása alapján három hőmérséklet-tartományt szoktak megkülönböztetni.

- *Kis hőmérsékletű tartomány:* 150–200 °C, háztartási eredetű iszapok kondicionálására a szervesanyag–tartalom csökkenése nélkül.
- *Közepes hőmérsékletű tartomány:* 200–280 °C, biológiailag nehezen bontható szerves anyagok kezelésére, bonthatóvá tételére, kimerült aktív szén regenerálására.



- *Nagy hőmérsékletű tartomány:* 280–325 °C, 20–40 perc tartózkodási idő alatt a legtöbb szerves vegyület 99,9 %-os hatásfokú teljes oxidálására, biológiai fölösiszapok, bőrgyári iszapok, papíripari szennyvizek, cukor tartalmú iszapok kezelésére.

A nedvesoxidációval a legtöbb szerves vegyület teljesen oxidálható, miközben a szén széndioxidá, a hidrogén vízzé, a halogének halogenidekké, a kén szulfáttá, a nitrogén ammóniává vagy nitrogénné, a foszfor pedig foszfáttá alakul. Akkor alkalmazzák, ha a biológiai kezeléshez sok, az égetéshez kevés a szervesanyag tartalom és a biológiai hasznosítás lehetősége nem adott. Ilyen pl. a gyógyszeripari és más ipari technológiai szennyvizek, szennyvíziszapok jelentős része. Az eljárás előnye, hogy a biorezisztens és mérgező anyagok oxidálására is alkalmas. A keletkező véggázok tisztítása elengedhetetlen.

A nedvesoxidáció lefolyását befolyásoló főbb reakciókörülmények a hőmérséklet, a nyomás és az oxigénkoncentráció. Nagyon fontos az oxigénnel való minél intenzívebb érintkezés. Az eljárás beruházási költségei magasabbak a hasonló kapacitású égető-berendezés beruházási költségénél, de az üzemeltetés költségei kisebbek. Leggyakrabban a függőleges elrendezésű buborékoltató tornyokat alkalmazzák.

### Ózonos oxidáció

Az ózon az oxigén háromatomos allotrop módosulata. A természetben a magasabb légköri rétegekben keletkezik a Nap ultraibolya sugárzásának hatására. Mesterséges úton nagyfeszültségű elektromos ívkisülésben oxigéntartalmú gázokból állítják elő. Az egyik legismertebb oxidálószer. Nedves környezetben könnyedén oxidál – az arany, irídium és platina kivételével – csaknem minden fém, a hidrogén-fluorid kivételével minden hidrogénhalogenidet.

A legtöbb szerves vegyület szelektivitás nélkül teljesen oxidálható ózon segítségével. Jobban oldódik a vízben, mint az oxigén. Az eljárás széles pH-tartományban alkalmazható, hatásfoka ultraibolya sugárzással sok esetben növelhető.

Az ózonos oxidációt először ivóvizek kezelésére alkalmazták. Széleskörű elterjedését az ózon előállításának nagy energia szükséglete miatti magas költségek akadályozták. Az előállítás mindig az alkalmazás helyén történik. A folyamat során meg kell akadályozni, hogy a kis koncentrációban is igen mérgező ózon a környezeti levegőbe vagy a munkatérbe jusson.

A hulladékkezelésben a cianidok, cianátok, fenolok, szerves színezékek (textil ipar), szerves kénvegyületek ózonos ártalmatlanításának van nagy jelentősége.

## 5. Redukciós folyamatok a hulladékkezelésben, alkalmazott redukálószer

A redukció (elektronfelvétel) a hulladékkezelésben ritkán alkalmazott eljárás, elsősorban fémek (króm (VI), higany), fémtartalmú vegyületek (fémorganikus vegyületek, fémelakátok) kezelésére használják. Alkalmazott redukálószer: kén-dioxid, nátrium-biszulfit ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ), nátrium-metabi-szulfit ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ), vas(II)-vegyületek, nátrium-[tetrahydroborát] ( $\text{Na}[\text{BH}_4]$ ).

A legfontosabb redukciós eljárás a hatértékű krómsavak átalakítása háromértékűvé. Redukáló szerként leggyakrabban kén-dioxidot használnak.

A mérgező fémek (ólom, higany, réz, nikkel, kadmium, arany, ezüst, platina) redukálása nátrium[tetrahydroborát] segítségével megy végbe.

A nitrátok és nitritek redukciója vas(II)-hidroxiddal történik.

## 6. Hidrolízis alkalmazása a hulladékkezelésben, a hidrolízis kémiai alapjai

A hidrolízis olyan kémiai folyamat, amely során víz hatására legalább két új vegyület keletkezik. Célja a hulladékkezelési eljárások során a veszélyesség csökkentése vagy a vízzel hevesen lejátszódó folyamatok ellenőrzött körülmények között tartása. Ezért a reakcióparamétereket (hőmérséklet, pH-érték, betáplálási sebesség) gondosan meg kell választani. A hidrolízis termékek gyakran erősen savas vagy lúgos vegyületek, ezért az eljáráshoz többnyire semlegesítés is kapcsolódik.

## HULLADÉKKEZELÉS ELEKTROKÉMIAI ELJÁRÁSAI

### 1. Dehalogénezés folyamata, dehalogénezéssel ártalmatlanítható hulladék típusai

A halogénezett szerves vegyületeket tartalmazó hulladékok veszélyesek a környezetre, mert biológiailag nehezen bonthatók, és közülük több rákkeltő hatású. Ezen hulladékok (különösen az aromások) égetése során kedvezőtlen égési körülmények között a hidrogén-halogenid mellett mérgező hatású dibenzdioxinok és dibenzfuránok keletkeznek.

Az aromás vegyületek közül elsősorban a legnagyobb gondot okozó PCB-k (poliklórozott bifenilek) és PCB tartalmú hulladékok (transzformátor-, kondenzátor- és hidraulikaolajak) dehalogénezésére dolgoztak ki módszereket. Ilyen eljárás pl. a nátriumtartalmú szerves reagenssel történő dehalogénezés, amikor a PCBből polimerizált bifenil és nátrium-klorid képződik. Mindkét reakciótermék szűréssel eltávolítható.

## EGYÉB HULLADÉKKEZELÉSI ELJÁRÁSOK

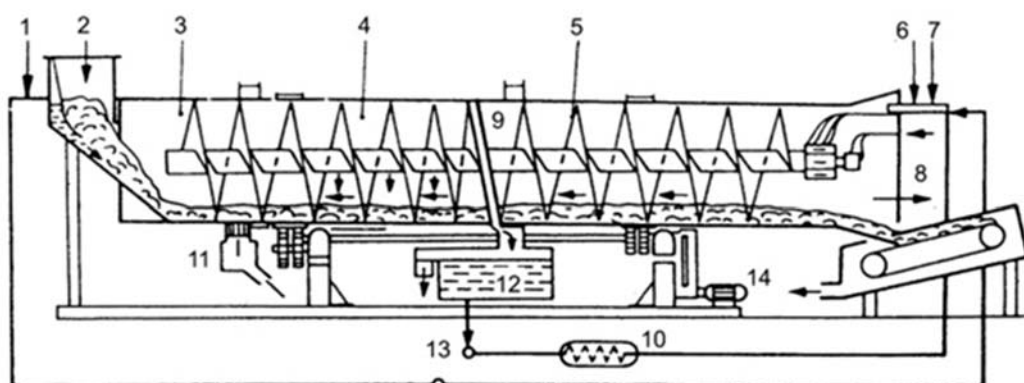
### 1. Mosási folyamat alkalmazása, műveletei, a mosóvíz kezelése

A tisztítás és mosás célja a hulladék felületén lévő szennyeződések eltávolítása, pl. textil, műanyag, üveg. Vízzel vagy szerves oldószerral és adalékok felhasználásával végzik. A tisztítás hatásfokának növelésére diszpergáló-, emulgeáló-, nedvesítőszeret, valamint vízlágyítókat és magas hőmérsékletet alkalmaznak. Általában recirkuláltatott mosógépekkel történik.

A mosás és a tisztítás a szilárd hulladék felületi szennyeződéseit eltávolító művelet, megkönnyíti a hulladék hasznosítását. A szennyeződés a mosáskor folyadékfázisba megy át: oldódik, diszpergálódik, emulgeálódik.

A folyadékfázis legtöbbször víz, vizes oldat, de lehet szerves oldószert is. A vízben oldott vegyszereket és szerves oldószereket aszerint kell kiválasztani, hogy milyenek a tisztítandó hulladék és a szennyező anyag tulajdonságai, és milyen a tisztítási hatásfokuk. A művelet hatékonyságát különböző kémiai adalékokkal segítik elő (pl. vízlágyítók, nedvesítőszer, emulgeáló- és diszpergáló anyagok alkalmazásával), valamint növelik a mosóközeg hőmérsékletét. A mosási folyamat több műveleti fázisból áll, amelyek a mosófolyadék vegyszertartalma, a szilárd anyag és a folyadék aránya, továbbá a hőmérséklet tekintetében is különböznek egymástól.

A mosóvizet recirkuláltatják, ill. az elszennyeződést követően komplexen tisztítják. A mosást szakaszos és folyamatos üzemű berendezésekben végzik. Textilhulladék folyamatos tisztítására alkalmas mosóberendezés vázlatát a 5.44. ábra szemlélteti. A mosási technológiát főként textil-, műanyag- és üveghulladékok felületi tisztítására használják a hulladékkezelési gyakorlatban.



13. ábra. Folyamatos csómosógép vázlatát – 1. víz és mosószer; 2. szennyezett anyag; 3. fő mosózóna; 4. tisztára mosó zóna; 5. öblítőzóna; 6. forróvíz-adagoló; 7. gőz; 8. kondenzvíz; 9. flottaelválasztás; 10. hőcserélő; 11. lefolyó; 12. öblítővíz; 13. szivattyú; 14. hajtómű; 15. kihordószalag

## 2. Katalitikus hidrogénezés eljárása, alkalmazása

A PCB és egyéb halogénezett aromás és alifás szénhidrogének dehalogenezésére több katalitikus hidrogénező eljárást fejlesztettek ki. Egy német eljárással a fáradt kenőolajok katalitikus hidrogénezését 250–400 °C hőmérsékleten 3–8 bar nyomáson hajtják végre fix ágyas heterogén katalizátorral. Az eljárással ipari méretben sikeresen lehet dehalogénezni max. 5 tömeg% halogéntartalmú olajokat, oldószereket, többek között klór–benzollal és PCB-vel szennyezett fűtőolajat, peszticidtartalmú oldószereket, poliklórozott dibenzdioxinnal és PCB-vel szennyezett kenőolajokat, kondenzátor-és transzformátor töltőolajokat.

## KOMPOSZTÁLÁS TECHNOLÓGIÁI

A komposztálás során a mikro-és makroszervezetek oxigén jelenlétében a szervesanyagokat egyszerű alapvegyületekre bontják, és humusz anyagokat képeznek. A komposztálás munkaműveleteinek, gépesítési megoldásainak legfontosabb célkitűzése, hogy a folyamatban résztvevő mikroorganizmusok számára optimális feltételeket biztosítsunk, ezáltal megfelelő minőségű végterméket állítsunk elő. A komposztálás során mikrobák változó igényeihez igazodva speciális gépesítési megoldásokat kell a folyamat során alkalmazni.

A gyakorlat szempontjából a komposzt előállításnak három fő fázisa van, melyeken belül külön munkaműveleteket tudunk elkülöníteni:

1. nyersanyagok előkészítése (aprítás, keverés, víztelenítés, idegenanyag eltávolítás)
2. komposztálás intenzív érlelés (levegőztetés, nedvesítés, forgatás, homogenizálás)
3. konfekcionálás, utókezelés (aprítás, keverés, rostálás, zsákolás)

### 1. Aprítógépek típusai, kiválasztásának szempontjai

A nyersanyagok előkészítésének célja, hogy a komposztálás mikrobáinak optimális feltételeket biztosítsunk a bontás megkezdéséhez. Ennek első lépése a nagyobb nyersanyagok aprítása, amivel a mikrobák számára rendelkezésre álló felületet megnöveljük illetve csökkentjük a hulladék térfogatát. Optimális esetben az aprítékban a durva és finom frakció egyenletes eloszlású. A durva darabok adják a komposztálandó anyag struktúráját, szerkezetét. A nagyobb nyersanyagok aprításával a mikrobák számára rendelkezésre álló felületet növeljük meg, illetve csökkentjük a hulladék térfogatát. Optimális esetben a durva és finom aprítékok egyenletesen oszlanak el, a durva darabok adják a komposztálandó anyag struktúráját, szerkezetét.

Aprításra a következő gépek alkalmasak:

- kalapácsoló ütő aprítók – fás, nagy átmérőjű anyagok aprítására
- kések aprítók – kisebb fák, cserjék aprítására
- aprítók – könnyen aprítható, több komponensű anyagok kezelésére,
- poligonos törők – finomabb aprítás előkészítésére szolgáló berendezések;

- rostaköpenyes aprítók (a rostaköpeny opcióként kérhető a kalapácsos és hengeres törők mellé)

## 2. Idegen anyagok kiválasztásának eljárásai, berendezései

Az idegenanyagok eltávolítása a komposzt minőségének javítását szolgálja. Ez történhet rostálással (hengerrosta, dobrosta alkalmazásával), mágneses fémkiválasztóval, manuális kiválasztással (kézi válogatással).

## 3. Levegőztető rendszerek, szemipermeábilis membrán működése, irányítástechnikája

A komposztálás ideje alatt folyamatosan aerob körülményeket kell biztosítanunk, hogy a biodegradáció biztonságosan, gyorsan végbemenjen. Ennek egyik lehetséges módja az, hogy az érő anyag belsejébe nyomó vagy szívó rendszerű levegőztetéssel levegőt (oxigént) juttatunk a kezelendő anyag alatt elhelyezett perforált csövekkel, vagy az aljzatba süllyesztett perforált fedelű csatornákkal.

A levegőztetett prizmakomposztálás újszerű változata a szemipermeábilis membrántakaróval zárttá tett komposztálási rendszer, amely 3 fontos elemből áll. Az aktív *levegőztető egység* a komposztálásban közreműködő mikroorganizmusokat látja el oxigénnel. A levegőztetést az erő anyagban mért hőmérséklet és oxigéntartalom alapján, *folyamatosan, visszacsatolással szabályozza*. A szemipermeábilis membrán megszünteti a korábbi levegőztetett rendszerek több hiányosságát azáltal, hogy a membrán miatt a prizmában enyhe túlnyomás uralkodik, ezért anaerob zónák nem keletkeznek. A membrán biztosítja a gázcserét, de a szaganyagokat, a nedvességet és a hőt visszatartja. A rendszerrel zárt jellegű komposztálás valósítható meg, viszonylag rövid idő alatt (4 hét). A rendszer további előnye az alacsony üzemeltetési költség.

A levegőztető rendszerek alkalmazásának előfeltétele a nyersanyagok homogenizálása.

A kezelendő nyersanyag oxigénnel történő ellátását átforgatással is elérhetjük. A forgatásos rendszeréknél a levegőztetésen kívül homogenizáljuk, lazítjuk is az anyagot.

## BIOGÁZ-ELŐÁLLÍTÁS TECHNOLÓGIÁJA

### 1. A biohulladék kezeléséről és a komposztálás műszaki feltételeiről szóló KvVM rendelet

A biohulladék kezeléséről és a komposztálás műszaki követelményeiről a 23/2003. (XII. 29.) KvVM rendelet rendelkezik.

A biohulladék kezelésének általános szabályai az alábbiak szerint összegezhetők:

1. Biológiai kezelésre, valamint stabilizálásra csak az a rendelet mellékletében felsorolt hulladékok kerülhetnek.



2. Amennyiben a komposztálás, illetve az anaerob biológiai lebontás feltételei adottak, a biohulladékot a keletkezés helyén elkülönítetten kell gyűjteni, és el kell kerülni annak egyéb hulladékkal vagy anyaggal való szennyeződését.
3. Az az elkülönítetten gyűjtött biohulladék kerülhet komposztálásra vagy anaerob biológiai lebontásra, amely újrafeldolgozásra már nem alkalmas, illetve az újrafeldolgozás ökológiai, gazdaságossági feltételei nem adottak.
4. Hulladékgyűjtő udvarban a biohulladékok közül csak zöldhulladék gyűjthető.
5. A biohulladék kezelése során keletkező csurgalékvíz összegyűjtéséről, kezeléséről a hulladékkezelési engedélyben foglaltak szerint kell gondoskodni.
6. Veszélyes készítménynek minősülő faanyagvédő szerrel kezelt biohulladék komposztálással, illetőleg anaerob biológiai lebontással nem kezelhető.
7. A biológiai bomlási folyamatok elősegítése, a szerkezeti stabilitás javítása, valamint a kémiai összetétel befolyásolása érdekében a biohulladék más hulladékkal vagy anyaggal történő együttes kezelését a hulladékkezelési engedélyben foglaltak szerint kell végezni.

## 2. A biogázképződés folyamata

**A biogázképződés folyamata öt szakasszal jellemezhető:**

**I. fázis:** aerob lebomlás:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  és víz keletkezik. Fontos tényező a nedvesség tartalom (60 % optimális). Exoterm folyamat, a hőmérséklet 40–70 °C.

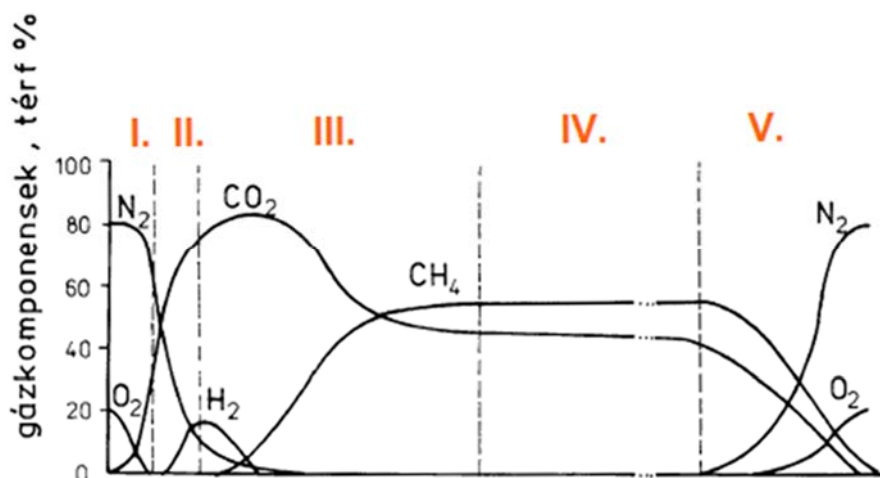
**II. fázis:** anaerob lebontás kezdeti szakasza: illékony zsírsavak, szén-dioxid és hidrogén keletkezik az erjesztő és acetogén baktériumok hatására. A redoxpotenciál csökkenésével a kezdeti magas szulfáttartalom lassan lecsökken, a keletkező szulfid kicsapja a vasat, mangánt és a nehézfém elemeket, amelyek eddig oldott állapotban voltak.

**III. fázis:** második közbülső anaerob fázis: metanogén baktériumok lassú növekedésével kezdődik. A metánkoncentráció nő, mialatt a hidrogén, a szén-dioxid és a zsírsavak koncentrációja csökken. Tovább csökken a szulfátkoncentráció a folytatódó szulfátredukció révén. A zsírsavak átalakulása a pH és alkálitás (lúgosság) növekedésével jár, ami a kalcium, a vas, a mangán és a nehézfémek oldhatóságának a csökkenését vonja maga után, amelyek később valószínűleg szulfidokként csapódnak ki

**IV. fázis** – metán fázis: 50–60 % metántartalomnál stabilizálódik a gázképződés, ami a zsírsavak és a hidrogén alacsony szinten történő tartását eredményezi.

**V. fázis:** csak az ellenálló szerves szén marad az elhelyezett hulladékban. A metántermelődés jelentősen visszaesik, koncentrációja olyan kicsi lesz, hogy nitrogén jelenik meg a gázokban a légköri diffúzió miatt.

A biogáz képződés 6–7 hónap után indul meg, 6–7 év alatt éri el maximumát, és 15–20 évig gazdaságos a kitermelése!



14. ábra. Biogázképződés folyamata

### 3. Az alapanyagok típusa és összetétele

Biogáz minden olyan szervesanyag tartalmú hulladékból nyerhető, amely biológiailag bontható anyagot tartalmaz. A keletkezésük tömegénél fogva jelenleg három fajta hulladék alkalmas biogáz termelésre: települési hulladék, állati trágya és szennyvíziszap.

Az állati trágyából és a szennyvíziszapból igen jó minőségű biogázt nyerhetünk, de a termeléshez jelentős beruházási (erjesztő reaktorok) és üzemeltetési költség tartozik. Az eljárás előnye, hogy a gáztermelés szempontjából kikerült biomassa értékes talajerő pótlóként hasznosítható.

A települési hulladék hatalmas és egyre növekvő tömegénél fogva jelentős biogáz forrásként szolgálhat. Átlagos szervesanyag tartalma és összetétele lehetővé teszi az ilyen irányú hasznosítást. A szelektív hulladékgyűjtéssel vagy a hulladék válogatásával (fém és üvegtartalom csökkentése (a szervesanyag koncentráció jelentősen növekedhet, így a biogáztermelés is intenzívebb lesz.

### 4. A biogáz előállítás feltételei

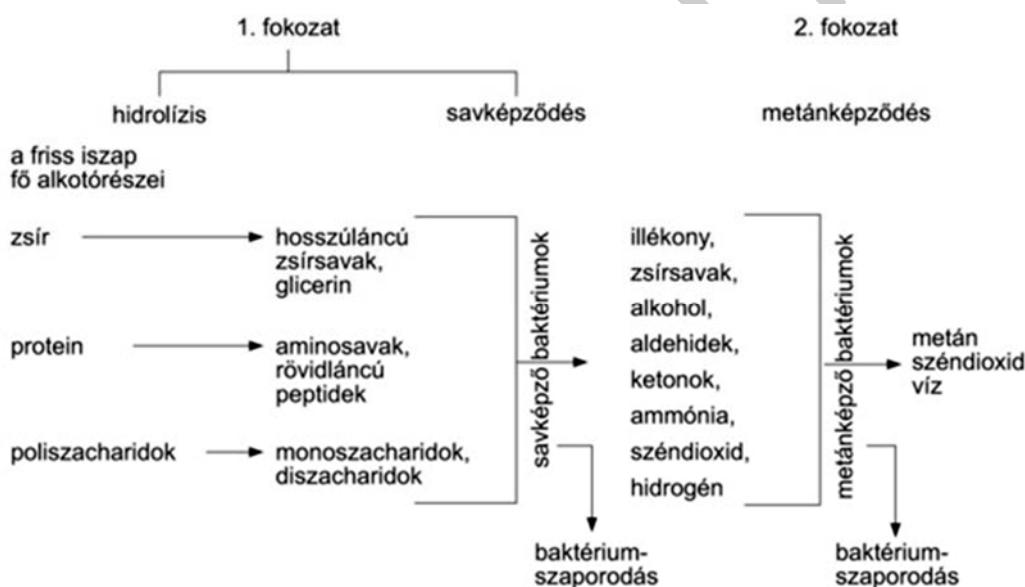
A biogáz képződés körülményeit az anaerob (oxigénmentes) lebomlás jellemzi, az eljárás számára kedvez, elsősorban közepes (30–37,5 °C) hőmérséklet-tartományban. Hasonló anaerob lebomlás termofil mikroorganizmusokkal is végbemegy, mégpedig gyorsabban, mint mezofil tenyésztéssel. Azonban az anaerob bomlás nem exoterm, hanem endoterm folyamat, ezért a lebontandó anyagtömeg melegítésére van szükség, amelynek gazdaságossági hatásai miatt a mezofil lebontás előnyösebb.

A hulladékok szerves anyaga főleg növényi anyag, kémiailag cellulóz, különböző hemicellulózok, cellulózszármazékok, összetett és egyszerű cukrok, amelyeket összefoglalóan szénhidrátoknak nevezünk. A növényi eredetű anyagokban kisebb, az állati eredetű anyagokban nagyobb arányban vannak jelen a fehérjék és peptidek, továbbá a zsírok és olajok. Ezekhez képest jelentéktelen mennyiségű bonyolultabb összetételű vegyületek is jelen vannak a hulladékokban (pl. vitaminok, hormonok, enzimek) és természetesen a fő alkotórészek lebomlásából származó egyszerű szerves vegyületek.

Tehát a biogáz-előállítás szempontjából a legfontosabb három fő vegyületcsoport: a szénhidrátok, fehérjék és zsírok.

Az említett vegyületek teljes anaerob erjedési folyamatának biokémiája és mikrobiológiája még nem teljesen tisztázott.

A folyamat végeredménye a főleg metánból és szén-dioxidból álló, energetikai célokra hasznosítható biogáz.



15. ábra. Az aerob és az anaerob erjesztés során lejátszódó folyamatok

## 5. Nyilvántartás vezetése, bizonylatok kitöltése

A biohulladék-kezelő telep üzemeltetését az illetékes környezetvédelmi felügyelőség által jóváhagyott üzemeltetési szabályzat szerint kell végezni, amelynek legalább a következőkre kell kiterjednie:

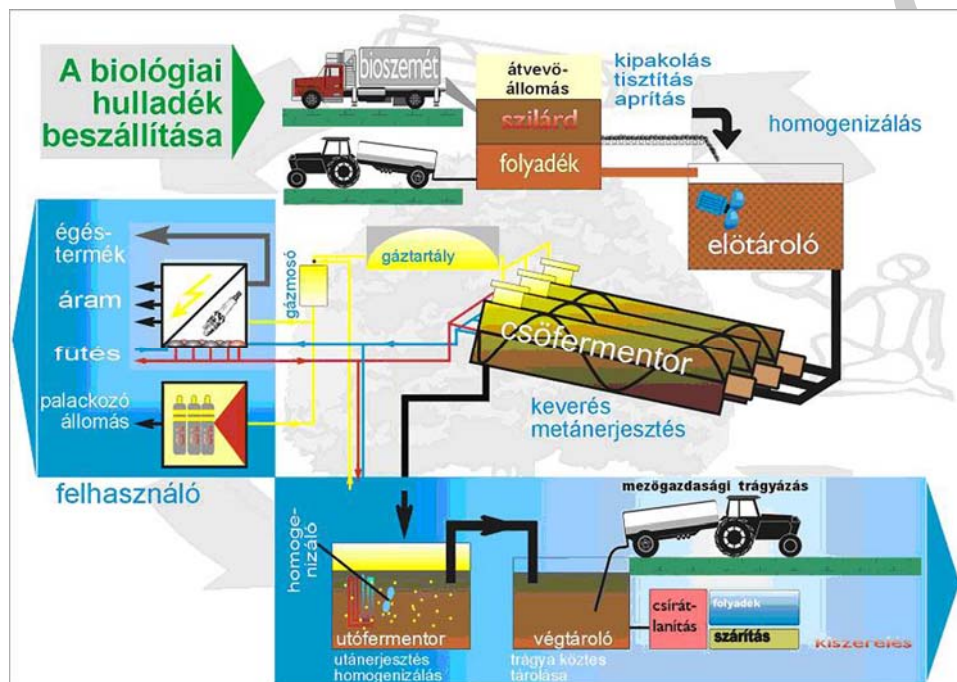
- az adminisztrációra, ezen belül a szállítás rendjére, a hulladékfajták mennyiségi és minőségi nyilvántartására,
- a hulladékkezelés rendjére,
- a nyitva tartásra

vonatkozó előírásokra.

A biohulladék-kezelő telep hulladékforgalmáról jogszabály előírásai szerint nyilvántartást kell vezetni, és adatszolgáltatást kell teljesíteni.

## 6. Alapanyag előkészítésének technológiai folyamatai és berendezései, az alapanyag adagolása

A hulladék alapanyag jellegétől függően első lépcsőben szükség lehet szétválasztásra és/vagy aprításra és/vagy hőkezelésre.



16. ábra. Biogáz technológia

A szilárd halmazállapotú anyagok beadagolása rendszeres időközönként történik, erre különféle megoldások léteznek:

- bemosóakna – a szilárd halmazállapotú anyagokat egy aknán keresztül a lebontási maradékkal mossák be a fermentorba,
- hidraulikus betáplálás zárt csővezetéken keresztül,
- speciális szállító csigarendszer,
- szilárd szubsztrátum bunker.

Abban az esetben, ha a szilárd alapanyagok mérete erősen változó, szükséges az alapanyag aprítása annak érdekében, hogy a fermentorba homogén, közel azonos részecskenyagúságú alapanyag kerüljön be. Ennek előnye, hogy a lebontó baktériumok nagyobb felületen tudnak megtelepedni, ami a gáztermelés mértékét pozitív irányban befolyásolhatja. Az adagoló csigákkal ellátott berendezések a többféle alapanyag elkeverését is segíti.

Az adagolás szabályozása automatikus.

A folyékony fázisú anyagokat szivattyú, a szilárd fázisúakat megfelelő adagoló berendezés továbbítja rendszeres időközönként a fermentorként üzemelő, általában átfolyó rendszerű, függőleges vagy vízszintes elrendezésű, hengeres vagy téglatest alakú, hőszigetelt vasbeton (vagy acél) tartályba.

A fermentorok (erjesztő tartályok) kialakításával szembeni legfontosabb követelmények:

- levegő kizárása,
- folyadék- és gáztömör konstrukció,
- szabályozható fűtés,
- kéreg- és zónaképződés, kiüledés megakadályozása (keveréssel),
- szubsztrátumok biztonságos be- és kitárolása ill. áthaladása,
- szükséges tartózkodási idő biztosítása.

A fermentorban levegő kizárásával, lassú, szakaszos vagy folyamatos keverés mellett, általában 37 – 38 °C (u.n. "mezofil") hőmérsékleten elkezdődik ill., megvalósul a szerves anyagok lebomlása. Vannak magasabb, 54 – 55 °C hőmérséklet-tartományban (u.n. "termofil") üzemelő biogáz fermentorok is. A termofil biogázüzemek gázkihozatala lényegesen magasabb a mezofil tartományban üzemelőkhöz viszonyítva, és a szubsztrátumok lebontási ideje rövidebb. A termofil tartományban működő mikrobiológiai rendszer azonban igen érzékeny a hőmérséklet változásokra, ezért a termofil üzemvitel megbízható hőmérséklet szabályzást és nagy tapasztalatot igényel. Az alapanyag összetétel arányát és minőségét csak fokozatosan és körültekintően szabad változtatni. A mezofil rendszerek ezzel szemben nagyobb ingadozásokat is képesek elviselni az üzemvitelben, kevésbé érzékenyek az alapanyag összetételére, biztonságosabb az üzemeltetésük.

A fermentorok fűtése a tartály falára (vagy alaplapjára) erősített acél- vagy műanyag csövek segítségével oldható meg. A műanyag kivitelezés olcsóbb, hővezető képessége azonban rosszabb a drágább acél csövezéshez viszonyítva. Egyes rendszerekben külső hőcserélőn keresztül valósítják meg az üzemhőmérséklet fenntartásához szükséges hőközlést. A fermentorok hőenergia fogyasztása a betáplált alapanyagok hőmérsékletétől, a fermentor konstrukciójától és a hőszigetelés hatékonyságától függ.

Vannak egylépcsős és kétlépcsős biogáz technológiák. Az egylépcsős változatban általában álló hengeres fermentorokat alkalmaznak, ezekben a lebontási folyamat egyes szakaszai azonos térben valósulnak meg. A kétlépcsős technológiai megoldások esetében első lépcsőként gyakran fekvő elrendezésű fermentorok szolgálnak.

A fekvő elrendezés révén az u.n. "plug flow" vagy "Propfenstrom", "dugóáramlás" jön létre, amelynek lényege az, hogy a frissen beadagolt szubsztrátum úgy halad át a fermentoron, mint egy dugó egy csövön. A friss szubsztrátum így kevésbé keveredik a már részben erjesztett anyaggal, a higienizáló hatás is jobban érvényesül. A "plug-flow" fermentorban a lebontási folyamat egyes szakaszai jobban elkülönülnek egymástól, hatékonyabb működést eredményezve. Ezekben a viszonylag kis térfogatú fekvő elrendezésű fermentorokban hatásosabb lebontást lehet megvalósítani, így az alapanyagok átlagos szárazanyag tartalma 18–19 %-ig növelhető.

A keletkező biogáz általában a folyadék fázis feletti gázgyűjtő térben gyűlik össze, ahonnan folyamatosan elvezetik.

A kétlépcsős technológiákban a fermentációs massa az első fermentorból általában az utófermentorként funkcionáló, átfolyó rendszerű, függőleges elrendezésű, hengeres, hőszigetelt, fűtőcsövekkel ellátott, mezofil (vagy termofil) hőmérsékleten üzemelő betontartály(ok)ba kerül át. Az utófermentorokban folytatódik ill., befejeződik a szubsztrátumok szerves anyagának lebomlása és a biogáz képződés.

## 7. A kirothasztott iszap hasznosításának lehetősége

A folyékony fázis a fermentorból az utótárolóba kerül. A végtermék **biotrágyaként** (biohumuszként) hasznosítható. A tároló tartály méretezésénél figyelembe kell venni a lebontási maradék tárolására vonatkozó hatósági előírásokat és a növénytermesztés trágyázási igényeit. Az újabb, nagyobb méretű biogáz üzemekben a végtároló tartály(oka)t fix tetővel vagy fóliaszappal látják el a nitrogénvesztés csökkentése és a tárolás során még esetleg keletkező biogáz felfogása érdekében.

A lebontási maradék fázisbontása mellett számos érv szól, ebben az esetben egy szilárd és egy folyékony fázis keletkezik. Vannak megoldások a folyékony fázis tisztítására is, amelynek eredményeképpen természetes vizekbe engedhető vagy technológiai folyamatokban felhasználható vizet lehet előállítani.

## 8. A gáz tárolása, előkészítése és hasznosítása

A biogáz üzemekben általában 2 – 12 órás termelésnek megfelelő térfogatú biogáz tárolókat alakítanak ki. Nagyobb mennyiségű biogáz tárolása általában nem gazdaságos, a kapcsolt áram- és hőtermelő berendezések folyamatosan működnek. Legalább 2 órás mennyiség tárolására elegendő kapacitás létrehozása azonban mindenképpen szükséges, hiszen a biogáz képződés nem egyenletes.

A biogáz tárolására a gyakorlatban négy megoldást alkalmaznak:

1. gáztároló fóliaszák a fermentor(ok) fölötti tetőtérben elhelyezve,
2. gáztároló fóliaszák külön könnyű szerkezetes fémtoronyban vagy épületben elhelyezve,
3. fermentorok légterét hermetikusan lezáró kettős fóliakupola,
4. kettős, felfújható fólia tároló.



A keletkező biogázt leggyakrabban a fermentorok folyadék fázisa felett kialakított gázkupolában gyűjtik össze.

A fermentorokból kikerülő meleg biogáz vízgőzzel telített, ennek leválasztását meg kell oldani. A hideg biogáz vezetékben a vízgőz kicsapódik, azonban a föld felett húzódó nedves biogáz vezetékek esetében – a vízleválasztás érdekében – szükség van külön hűtésre. Utóbbi esetben a gázt egy berendezésben lehűtik, aminek következtében a nedvességtartalom kicsapódik.

Gyakori megoldás a biogáz biológiai kéntelenítése az álló hengeres fermentorok felett elhelyezett gázkupolákban, ahová a kénhidrogént lebontó *aerob baktériumok* életfeltételeinek megteremtése érdekében kis mennyiségű levegőt adagolnak. A biológiai kéntelenítés megvalósítható külön kéntelenítő toronyban is. A biogáz kéntelenítésére *kémiai módszerek* is alkalmazhatók.

A biogáz megfelelő tisztítás és előkezelés után felhasználható gépjárművek üzemanyagaként vagy betáplálható a földgáz hálózatba, ha abból az előbbieken túl a *széndioxidot* is eltávolítjuk.

## HULLADÉKÉGETÉS TECHNOLÓGIA

### 1. Hulladékégetés technológiai folyamata, a hulladékégetés engedélykérelem tartalmi követelményei

A hulladék az ember mindennapi élete, munkája, gazdasági tevékenysége során keletkező, a keletkezés helyén feleslegessé vált, ott fel nem használható, különböző minőségű és halmazállapotú anyag. Eltávolításáról és feldolgozásáról külön kell gondoskodni.

A hulladékoknak alapvetően két fő csoportját különböztetjük meg.

- A termelő és szolgáltató tevékenységből származó ún. **termelési hulladékok**.
- Az elosztási és fogyasztási tevékenységből származó, az életszínvonaltól és életmódtól erősen függő, ún. **települési vagy kommunális hulladékok**.

A hulladékok, halmazállapotukat, összetételüket stb. tekintve igen sokfélék lehetnek.

A **hulladékégetés** műszaki és technológiai vonatkozásban jelenleg a legkiforrottabb hulladékmentesítési eljárás.

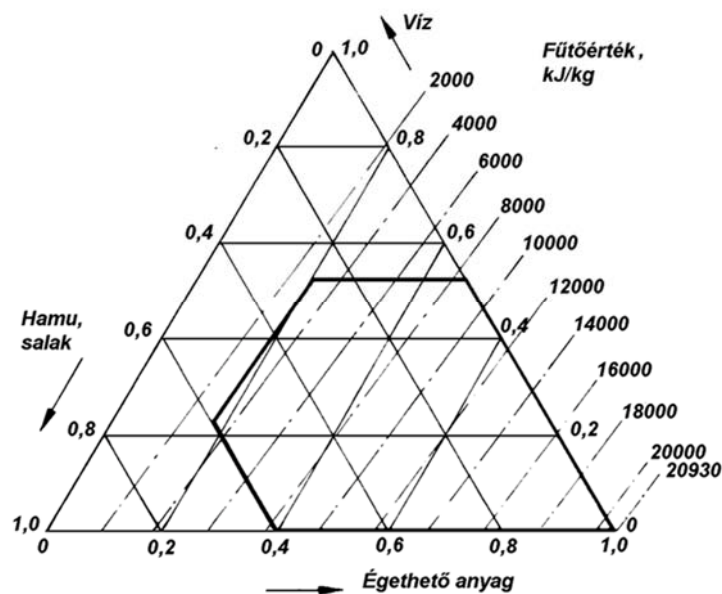
A hulladékégetéshez az alábbi fontosabb alapadatok ismerete szükséges:

- halmazállapot
- kémiai összetétel
- fűtőérték
- sűrűség
- a hamu olvadási jellemzői
- szilárd hulladékoknál a szemcseméret-eloszlás, a maximális darabnagyság

- folyékony és iszapszerű hulladékoknál a viszkozitás, a gyulladás- és lobbanáspont
- halogénanyag-tartalom
- mérgezőanyag-tartalom stb.

## 2. Termikusan ártalmatlanítható hulladékok köre, égetés szempontjából legfontosabb tulajdonságai

Tüzeléstechnikai szempontból elsősorban a kalorikus tulajdonságok fontosak (fűtőérték, éghető anyagtartalom, víztartalom, hamutartalom).



17. ábra. A kalorikus tulajdonságok közötti összefüggést az ún. Tanner-féle háromszög szemlélteti.

A szilárd hulladékok önálló éghetőségének feltételei ezek szerint:

- legalább 20–25 tömegszázalék éghető anyagtartalom
- legfeljebb 60 tömegszázalék hamutartalom
- legfeljebb 50–55 % víztartalom
- legalább 4200 kJ/kg fűtőérték

Éghető

- szén (C)
- hidrogén (H)
- kén (S)

Nem éghető

- oxigén (O)

- nitrogén (N)
- nedvességtartalom (H<sub>2</sub>O)
- hamu (ásványi anyagok, pl. karbonátok, szilikátok, oxidok stb.)

### 3. Égés feltételei, hulladékadagolás és berendezései

A szemétegetőket általában hőhasznosítókkal együtt telepítik.

A négy legáltalánosabb kiépítési forma:

- **Fűtőműves kiépítés:** 200 ° C-os, kisnyomású gőzt termelnek, s távfűtésre használhatók.
- **Fűtőerőműves változat:** a termelt gőzt először villamos energia termelésre, majd távfűtésre használják. (Működése hasonló a fűtőerőművekéhez.) (Az a. és a b. esetben egyaránt célszerű a hagyományos kazánokkal együttes üzemeltetés.)
- **Kondenzációs erőművi változat:** felépítése csak annyiban tér el a kondenzációs erőművétől, hogy a fosszilis tüzelőanyagokkal működő kazán helyett szemétegetőt alkalmaznak. A gőz energiáját kizárólag villamos energia termelésére fordítják. Ez a megoldás adja a viszonylag legtöbb villamos energiát, de beruházási költségei nagyok, s hatásfoka is alacsony. Egy tonna átlagos minőségű hulladékból kb. 400 kWh villamos energia termelhető.
- **Fűtőerőműves változat:** előnye az előző variációkkal szemben, hogy a fogyasztók energiaigényeihez alkalmazkodik. Elsősorban ott használják, ahol nincs lehetőség a hagyományos tüzelőanyagokkal működő kazánokkal való együttes üzemeltetésre.

A szemétegetőkből a viszonylag nagy gazdasági teljesítményű berendezések létesítése célszerű. Magyarországon 1982. óta üzemel városi szemétegető Budapesten: villamos energiát termel és a lakások távfűtését látja el.

### 4. Rostélyos és rostély nélküli tüzelőberendezések. Támasztó és póttüzelés

A régi (kis teljesítményű kazánokban ma is) a szenet ún. **rostélyon** égették el. Az álló rostélyon a salak eltávolításáról és a tüzelőanyag utánpótlásáról a fűtőnek kellett gondoskodnia. A később ún. vándorrostélyok szállítoszalaghoz hasonlóan szállították a friss szenet az égéstérbe és borították le a hamut a tűztér végén.

A rostélyos tűzterekben a levegőt alulról, az égő szénrétegen keresztül áramoltatták, hasonlóan a háztartási kályhákhoz.

A modern —szénportüzelésű kazánokban— kiterjedt légellátási rendszer van. Az égési levegő mennyiségét, sebességét és hőmérsékletét (előmelegítőn keresztül) pontosan szabályozni kell. A léghiányos égés esetén megnő az éghetőanyag-veszteség (az égéstermék CO tartalma), túl sok levegő bevitele esetén pedig megnő a füstgáz mennyisége és ezzel az ún. hőveszteség (a tározó égéstermék hasznosíthatatlan belső energiája).

Az **égéstermék eltávolítása** szénportüzelésű erőműveknél összetett probléma. A szénben lévő hamu az égés során salakká, illetve **pernyévé** válik. A tűztér aljára hulló salak eltávolítása nem jelent különösebb gondot, de a finom pernye a távozó gázokban halad a kémény felé. Eltávolítására a porleválasztó rendszerek (pl. mechanikus porleválasztók a ciklonok) szolgálnak. A környezetvédelmi igények kielégítése csak ún. elektrofilterekkel lehet. Ezek leválasztási százaléka megközelíti a 100 %-ot, de építési és üzemeltetési költségük magas.

## 5. Füstgáztisztítási technológiák és berendezések

Környezetvédelmi szempontból a hulladékégetés egyik legjelentősebb problémája a kibocsátott füstgázok által okozott légszennyezés és annak a megengedett érték alá csökkentése. A hulladékégetés távozó füstgázainak szennyezőanyag tartalma (mennyisége, minősége) az elégetett hulladék anyagi tulajdonságaitól, az égető berendezés szerkezeti kialakításától, valamint az üzemeltetési paraméterektől függően változik.

A hulladékégetők füstgázainak károsanyag-tartalma ennek megfelelően igen széles koncentráció tartományban ingadozik.

A füstgáztisztítás általában (alapvetően) az  $\text{SO}_2$  és  $\text{NO}_x$  csökkentésére irányul, ami sok esetben az éghető komponensek csökkentésével, ill. a szilárd szennyezők kiválasztásával is párosul.

A hulladékkezelést követő füstgáztisztítás – füstgáz változó összetételének megfelelően – igen sokféle lehet.

A füstgáztisztítás során:

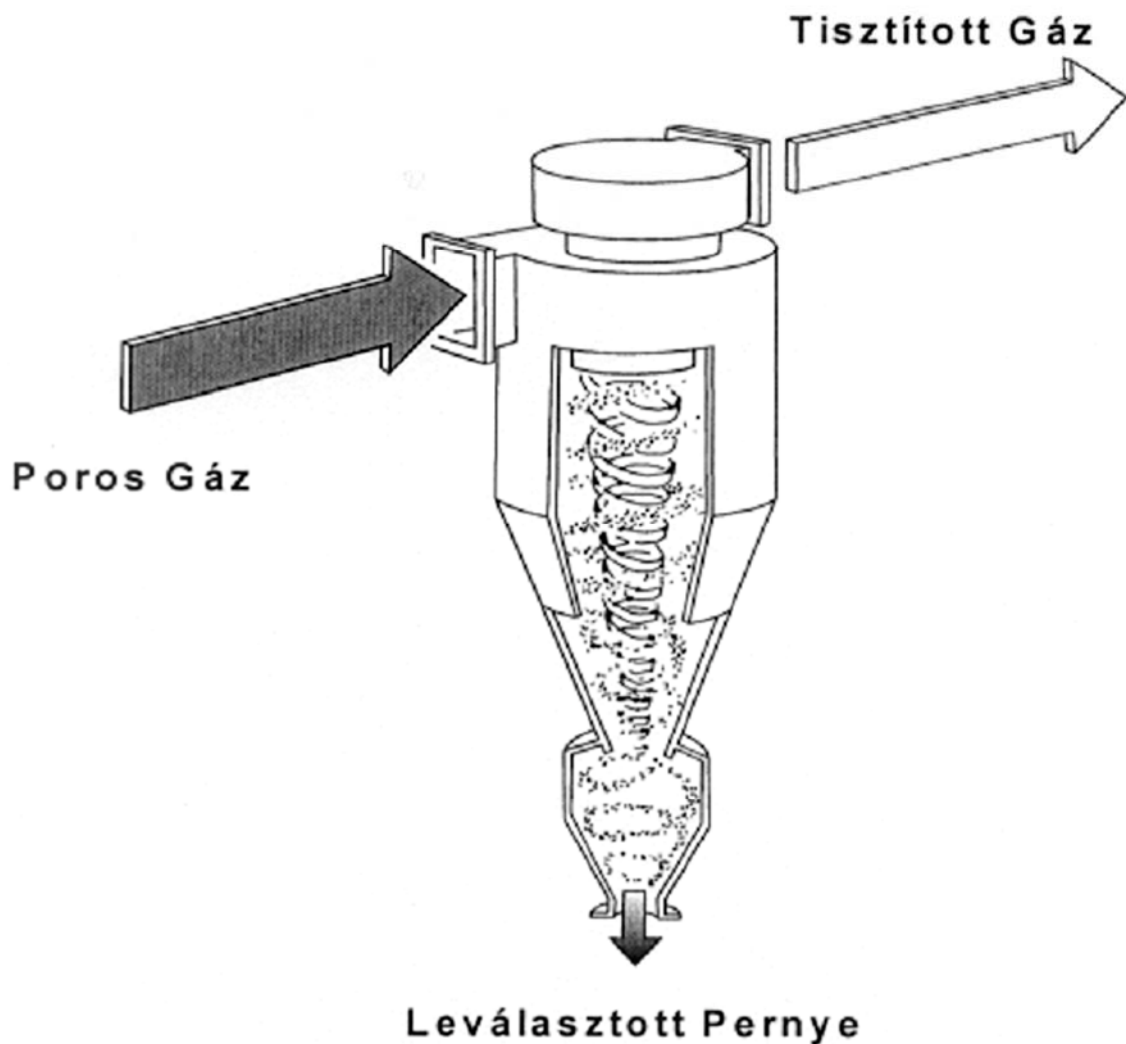
- a szilárd komponensek hatásos leválasztását;
- a folyadékban jól elnyelődő gázkomponensek leválasztását;
- a szilárd anyagon megkötődő gáz/gőz komponensek leválasztását;
- a katalitikus /nem katalitikus redukciókkal történő bontást kell megvalósítani.

A technológiai lépések során általában az első lépés a hőhasznosítót elhagyó füstgáz szilárd alkotóinak leválasztása, az ún. porleválasztás. Szilárd komponensek – pl. por, pernye – leválasztására a száraz elven működő leválasztók közül a gravitációs elven működő porkamrákat vagy ütközéssel működő leválasztókat alkalmazhatják. Ezek meglehetősen gyenge leválasztási hatásfokuk miatt általában agresszív, koptató porok esetében előleválasztóként jöhetnek szóba.

A hulladékégetők jellegzetes porleválasztó berendezése a porleválasztó ciklon, az elektrostatikus porleválasztó és a szűrő.

### Porleválasztó ciklon

A centrifugális erő elve alapján működő legelterjedtebb mechanikus porleválasztó berendezések, amelyekben mozgó alkatrész nélkül létrehozott centrifugális erő idézi elő a porszemcséknek a gázáramból való leválasztását. A ciklonok általában 10  $\mu$ m-nél nagyobb méretű szilárd anyagok leválasztására alkalmazhatók jó hatásokkal. A ciklon fő részei a gázbevezető cső, a hengeres rész, a kúpos rész, a porkivezető nyílás, a gázkivezető cső vagy merülőcső, porkivezető nyílás alatti portartály.



18. ábra. Porleválasztó ciklon működési elve

A ciklonban a szemcsék ívelt pályán haladnak, többször körbefutva a leválasztó térben. A körmozgást a ciklontestbe érintőlegesen bevezetett gázáram idézi elő. A centrifugális erő hatására a porszemcsék a leválasztó tér felülete, a hengeres ciklon fala felé vándorolnak, ahol lefékeződve kiválnak a gázáramból. A kivált por a nehézségi erő hatására a ciklon alsó részébe, majd onnan a portartályba jut. A portalanított gázáram a tengely-szimmetrikusan beépített merülőcsövön keresztül felfelé hagyja el a készüléket. A ciklon nem képes minden szennyeződést leválasztani, ezért a finomabb frakciójú porok a gázárammal együtt a kilépő nyíláson keresztül távoznak. A ciklonban igen bonyolult áramlások alakulnak ki. A szemcsékre különböző sebesség-komponensek hatnak, amelyek eredője határozza meg a szemcse mozgásának irányát. A merülőcső átmérőjének megfelelő hengerfelületen áramlanak át azok a porszemcsék, amelyek sebessége a kiválási határsebességnél kisebb és eredő radiális sebességkomponense a ciklon belseje felé mutat.

Határszemcsének nevezik, és dsh-val jelölik, a ciklonban még éppen leválasztható méretű részecskét, amelyre ható radiális sebességkomponensek egyensúlyban vannak a  $2r_i$  merülőcső átmérőjének megfelelő hengerfelületen. A határszemcse átmérőjét a ciklon geometriai jellemzői, a gázbevezetés módja és a gáz fizikai jellemzői befolyásolják.

### Elektrosztatikus leválasztó

Az elektrosztatikus porleválasztók igen jó hatásfokkal üzemelő,  $1\ \mu\text{m}$ -nál kisebb részecskék leválasztására is alkalmas berendezések. A leválasztó úgy működik, hogy a két elektróda között – a nagyfeszültségű egyenáram következtében – villamos erőter alakul ki. Az elektródák elnevezése szóró és leválasztó elektróda. Ha az elektródák közötti potenciálkülönbség elegendően nagy, a szóróelektróda közvetlen közelében a villamos térerő olyan mértékű lesz, hogy az ott lévő gázmolekulák ionizálódnak, vagyis pozitív és negatív ionok, szabad elektronok keletkeznek és a stabil (semleges) molekulákkal együtt lesznek jelen.

A szóró-elektroda közelében nagymértékű potenciálesés van, amely megfelelően nagy ionizációs feszültség esetén koronakisülést idéz elő. A koronakisülésnél a gázban lévő szabad elektronok a gázmolekulákkal ütközve további elektronok képződését idézik elő. A negatív töltések a földelt leválasztó elektróda felé áramlanak, ezáltal a teljes leválasztó-teret villamos töltések árasztják el. A porral szennyezett gázzal a koronaterbe jutó porszemcsék a pozitív és negatív töltésű ionokkal ütköznek és felvehetik a töltésüket. Így a szóró-elektrodával azonos töltésű negatív részecskék a leválasztó-elektroda felé vándorolnak, a pozitív töltésűek pedig a szóró-elektrodán válnak le, és ott veszítik el a töltésüket. A szóró-elektrodák különböző alakzatúak lehetnek, melyeket szigetelve függesztik a leválasztó térbe. A leválasztó elektródákat úgy kell kialakítani, hogy a leválasztott port a gázáram ne ragadja magával. Ezt különböző kiálló felületek, áramlási holtterek, ún. zsebek kiképzésével, valamint a leválasztott port levezető csatornák alkalmazásával oldják meg. Az elektródákat a rájuk leváló portól időszakosan le kell tisztítani. A szárazon működő leválasztók elektródáit úgy tisztítják, hogy a levált porréteget az elektródák ütemes kopogtatásával fellazítják és az porfüggöny formájában hullik a gyűjtőgaratba.



Az elektrosztatikus leválasztók előnye, hogy  $0,1 \mu\text{m}$ -nél kisebb szemcseméretű részecskék – porok, savködök stb.– leválasztására is alkalmasak. A száraz állapotban leválasztott porok a folyamatban újra felhasználhatóak. Ellenállásuk kicsi, karbantartási igényük is kicsi. Normál kivitelben  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ -ig, különleges esetben  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ -os gázhőmérsékletig használhatók. Hátrányuk a nagy beruházási költség és a nagy helyigény.

### Porszűrő

A szűrés az egyik legrégebben és legáltalánosabban alkalmazott porleválasztási módszer. A szűrőket széles körben használják jó leválasztási hatásfokuk, kisméretű szilárd részecskék leválasztására való alkalmasságuk, viszonylag kis energiaköltségük miatt. Szűréssel  $0,1 - 0,01 \mu\text{m}$  szemcséket akár  $99\%$ -ot is meghaladó hatásfokkal lehet leválasztani.

A nagy portartalmú gázok szennyeződéseinek leválasztására leginkább a *szövetszűrők* alkalmasak, mivel ezek tisztítása oldható meg a legkönnyebben. A szövetszűrőket nyomó és szívóüzemben is lehet üzemeltetni. A szűrési folyamat során a leválasztandó szilárd anyag a szűrőközegen visszamarad, amely a szűrőegység ellenállásának növekedését eredményezi. A szűrőberendezésen létrejövő nyomásesés egyrészt a tiszta szűrőréteg ellenállásából, másrészt a szűrőrétegre rakódó porréteg ellenállásából tevődik össze.

A szűrő tisztítása mechanikus és pneumatikus módszerrel történhet. A tisztítási folyamat alatt a gáz hozzávezetését meg kell szüntetni, vagy kamrákra osztott berendezésnél másik kamrába terelni.

### Nedves leválasztók

A füstgáztisztítás második technológiai lépése a folyadékban elnyelődő gőz/gáz komponensek leválasztása ún. füstgázmosókkal, nedves mosókkal.

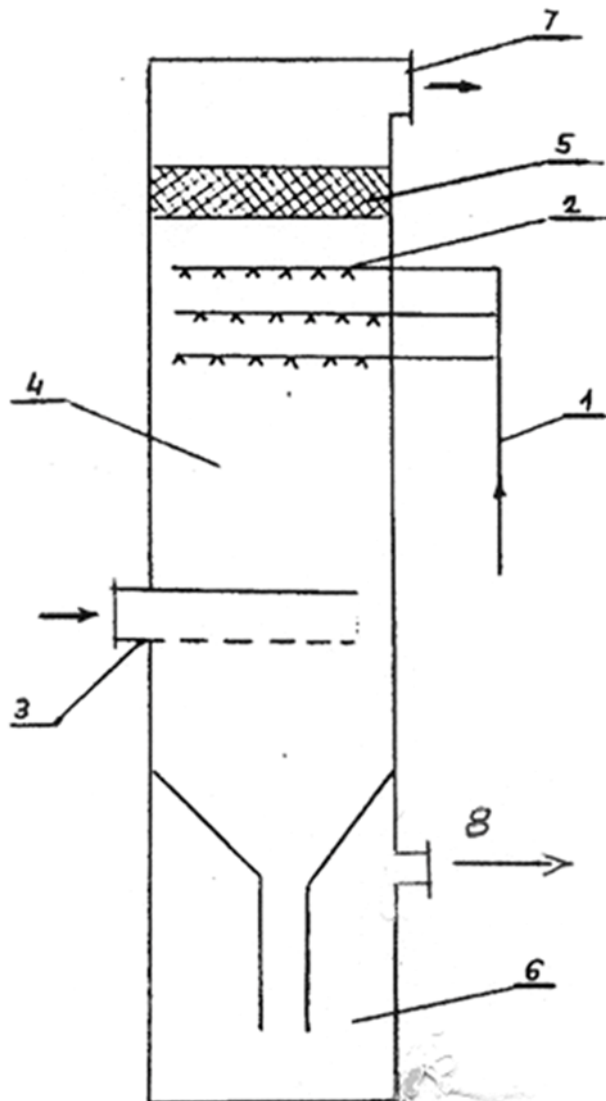
Nedves eljárással a szennyezett gázból a szilárd anyagokat és egyidejűleg, a hordozógáztól különböző egyéb gáz- és gőzkomponenseket is le lehet választani. A művelet során a szennyezőanyagot tartalmazó gáz érintkezik a megfelelő mosófolyadékkal, majd a tisztított gázt és a szennyező anyagot tartalmazó folyadékot szétválasztják. A porok leválasztása többféle mechanizmus – tehetetlenségi, nehézségi stb. erőhatások – útján megy végbe, míg a gázok leválasztása diffúzióval történik. A nedves mosókat általában  $10 \mu\text{m}$ -nél kisebb porszemcsék leválasztására alkalmazzák, ha a szennyezett gáz csak szilárd szennyeződést tartalmaz, akkor  $2-5 \mu\text{m}$ -nél kisebb méretű porok leválasztásához indokolt.

A nedves mosók működési mechanizmusa miatt a gáz és a mosófolyadék intenzív érintkeztetését kell biztosítani, ezért a berendezés olyan belső kialakítására kell törekedni, hogy a porszemcsék és a folyadék találkozási valószínűsége nagy legyen, lehetőség szerint minden porszemcsének lehetősége legyen a vízcsepphez jutni.

Gázkomponensek leválasztásánál bekövetkező diffúzió esetén az anyagátadás nagy érintkezési felület esetén intenzívebb, azaz ebben az esetben is nagy érintkező felületet kell biztosítani.

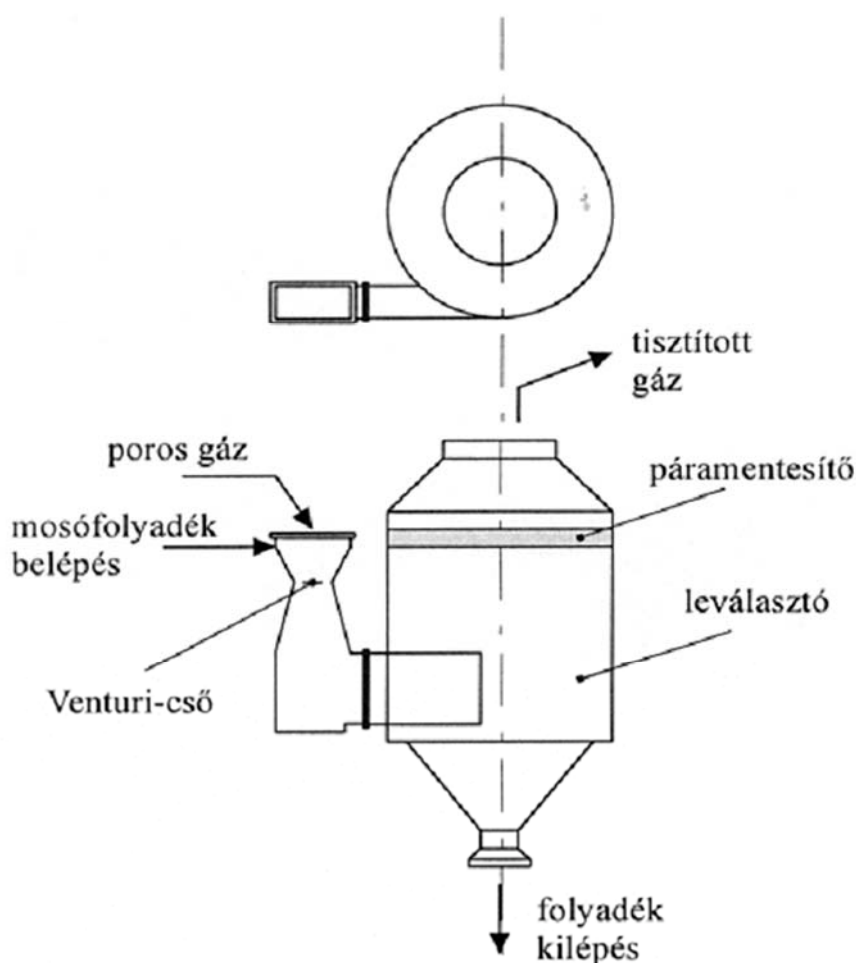
Az intenzív érintkeztetés során a tisztítandó gázba a nedvesség bepárolog illetve a gáz a cseppeket is magával ragadja, ezért a nedves mosók kiegészítője a *csepplevasztó*. A mosófolyadékkal távozó szilárd részek és/vagy leválasztott gázkomponensek a nedves mosó után elhelyezett folyadéktisztító rendszerben választhatók ismét szét.

A nedves mosók széles körben alkalmazott berendezései a *permetező mosók*, melyek egyidejűleg alkalmasak gáz és szilárd anyagok leválasztására. A hatásos érintkeztetést a gáz egyenletes eloszlásával és a folyadék cseppekre bontásával valósítják meg. A folyadékcseppek létrehozására különböző kialakítású porlasztókat használnak. A permetezőtorony általában függőleges elrendezésű, amelybe a mosófolyadékot felülről, a gázt alulról vezetik be. A folyadékot egy vagy több szinten permetezik be.



19. ábra. A permetező mosó felépítése – 1. folyadék bevezetés, 2. cseppképző rész, 3. gáz bevezetés, 4. gáz–folyadék érintkeztető, 5. cseppfogó, 6. folyadék-gyűjtő, 7. gáz kilépés, 8. folyadék kilépés

A nedves leválasztók másik jellegzetes kialakítása a *Venturi-mosó*. A Venturi-mosókban a leválasztandó pornak a mosófolyadékkal való ütközése a legfontosabb tényező. A folyadékot a Venturi-szakasz torokrézében táplálják vagy porlasztják be. A gázsebesség a torokban a legnagyobb, ahol kinetikai energiája hatására a mosófolyadék finom cseppekre oszlik. A készülékben a gáz és a cseppek örvénylésben vannak, amely kedvez a két fázis érintkezésének, ami nagyon jó leválasztási hatásfokot eredményez. Abszorpciós műveletre történő alkalmazásának korlátja az, hogy a nagy sebességek miatt rövid a tartózkodási idő, ezért inkább kémiai reakcióval kísért abszorpciónál alkalmazzák. Venturi-mosóknál igen jó porleválasztási hatásfok érhető el még  $1\ \mu\text{m}$ -nél kisebb méretű szennyeződések esetén is. A leválasztás hatásossága a mosófolyadék-vivőgáz arányának megváltoztatásával és a toroksebesség növelésével befolyásolható.



20. ábra. Venturi mosó

### Adszorberek

Hulladék égetése során keletkező füstgáz, folyadékban elnyelődni nem képes, környezetet szennyező komponenseinek leválasztása adszorpció elven történik.

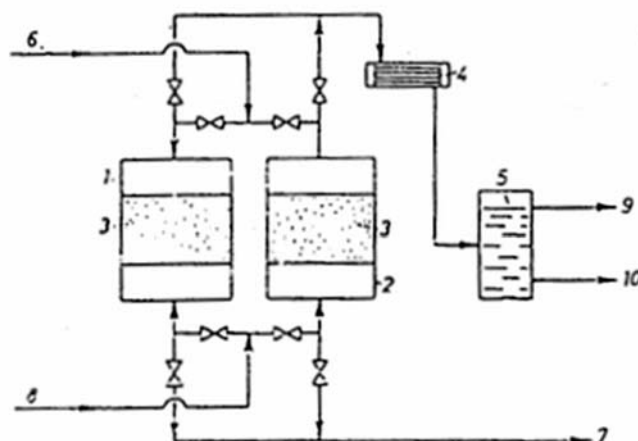
Gőz, gáz vagy folyadék szilárd felületen történő megkötődését adszorpciónak nevezzük.

Az adszorbensek porózus szerkezetű anyagok, nagy belső fajlagos felületük van. A nagy fajlagos felület az anyag ultramikroporózus szerkezetének köszönhető. A leggyakrabban alkalmazott adszorbensek az aktív szén vagy koks, a szilikagél, az aktív alumínium-oxid, és zeolitok (molekulasziták).

Az adszorpció művelete az adszorberben játszódik le, amely során a hordozógázból leválasztandó gáz- vagy gőzkomponens az adszorbens felületén megkötődik. Az adszorpció lehet fizikai vagy kémiai. Fizikai adszorpciónál az elnyeletendő gáz vagy gőz az adszorbens felületén kizárólag fizikai erők hatására kötődik meg. Kémiai adszorpció során az adszorbens a gázt vagy gőzt elnyeli és egyidejűleg kémiai kötés is létrejön. A megkötődési jelenség a van der Waals-erő hatására alakul ki úgy, hogy az adszorbens kapillárisaiban kapilláris kondenzáció játszódik le. Minél több belső kapilláris van és minél kisebb az átmérője, annál több gőzt vagy gázt képes felvenni.

Az adszorbens annyi gőzt képes elnyelni, amennyi a kapillárisokon belüli gőznyomást egyensúlyba hozza a vívógázban levő elnyeletendő gáz parciális nyomásával.

A teljes adszorpció folyamat a gáz megkötődéséből, az adszorpcióból; a megkötött gáznak az adszorbens felületéről történő kihajtásából, a deszorpcióból; és az adszorbens újabb adszorpcióra való előkészítéséből, a regenerálásból; áll. Az adszorpció elvégezhető szakaszosan, nyugvó ágyas adszorberben, vagy folyamatosan mozgó ágyas adszorberben. A szakaszos üzemű adszorberekből általában két vagy több egységet kapcsolnak össze, ezzel a tisztítás folyamatossága biztosítható. Az adszorbens ágyat rendszerint ömlesztetten helyezik el az adszorber rácsszerkezetén, de lehetséges olyan megoldás is, ahol egymás fölött az adszorbens ágyakat osztva alakítják ki.



21. ábra. Két egységből álló adszorber elvi vázlat - 1,2. adszorber, 3. aktív szén-ágy, 4. kondenzátor, 5. dekantáló, 6. szennyezett gáz, 7. tisztított gáz, 8. vízgőz vagy forró gáz, 9. könnyű komponens, 10. nehéz komponens

## 6. Salak és pernye kezelés és tárolás

A szilárd égetési maradék (salak és pernye) – az anyagi tulajdonságaik miatt – kizárólag a környezetet nem károsító módon helyezhető el. A maradékok mennyisége és összetétele a hulladék jellemzőitől és a tüzelőberendezés üzem módjától függ.

Az égető után az elégetlen maradékok általában vízagyba esnek és megszilárdulnak, melyeket salaknak neveznek.

Ezek összetétele nagyon inhomogén, található bennük: ásványi anyag (kő, üveg, kerámia stb.), fém (vas, alumínium, réz stb.). A salak szemcseeloszlása elsősorban a hulladék darabosságától, valamint a tüzelőberendezés szabályozásától függ.

A legtöbb hulladék égetőben a szerves maradékok lágyulási-olvasztási jellemzői miatt a tűztér hőmérséklete nem haladja meg az 1100 °C-ot. Ha az égetést 1200 - 1700 °C-on végzik, akkor a szilárd maradék olvadásként távozik az égéstérből, ezt a technológiát salakolvasztásos hulladékégetésnek nevezik. A salakolvasztásos égetési eljárásokból kikerülő átolvadt anyagban a vízdoldható komponensek vízben oldhatatlan szilikátos kötésbe mennek át, és így a salak granulátum a környezetre nem hat, ezért bárhol lerakható, esetleg építési anyagként is felhasználható.

A füstgázból leválasztott pernye az összes égetési maradék 5 - 10 %-át jelenti, azonban lényegesen szélsőségesebb tulajdonságokkal rendelkezhet, 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 égési maradékokat – a fent említett tulajdonságok miatt – a környezetet nem károsító módon, kizárólag rendezett, biztonságos lerakóban szabad elhelyezni. Az égetési maradék hasznosítására irányuló kísérletek és fejlesztések folyamatosan szélesednek és újabb eredményeket hoznak. A települési hulladék salakját pl. az útépítésben hasznosítják. Ilyen esetben a salakot megfelelően elő kell készíteni. Az előkészítés aprításból, mágneses vaskiválasztásból, és rostálásból áll. A salakot különböző méretű frakciókra választják szét. Az égetésből visszamaradó salak egyéb alkotóinak pl. üveg és a vastól különböző fémek visszanyerésére kifejlesztett eljárások hatékonysága is egyre javul.

A *nedves salak* kezelési eljárásoknál több probléma vetődhet fel. A kalcium-oxid a nedves salakkal lúgos közeget teremt, és az ezzel érintkező fémek már nem használhatók fel. A finom – 2 mm-nél kisebb – részekben is nagy az alkáli anyagok és a nehézfémek koncentrációja. Ebben a finom frakcióban nem könnyű szétválasztani az egyes anyagcsoportokat. A nedves salakban a víztartalom kb. 20 % is lehet, amely megnehezíti a végső elhelyezést.

A *száraz salak* elhelyezésénél ezek a problémák nem jelentkeznek, nagyobb a maradó fémek tisztasága, az egyes frakciók mechanikai módszerekkel szétválaszthatók. A hulladékégetést követő száraz salakkezelési eljárás három fő részből áll:

1. a száraz salak kihordásból,
2. a száraz salak szétválasztásából,
3. a finom frakciók kezeléséből.

A kazánt elhagyó salak a szitarostélyon két frakcióra különül el. A nagyobb részek – a 32 mm-nél nagyobb méretűek – a nedves salakkezelésnek megfelelően vízgyába esnek, míg a kisebbek nem érintkeznek vízzel. A kisebb méretű frakcióból a további lépések során kiszitálják a 2 mm-nél nagyobb részeket, majd a mágneses leválasztó kiválasztja a vasat, a többi fémet pedig elkülönítik, szitálják, őrlik és elszállítják. Ezzel a módszerrel 2 – 32 mm méretű értékesíthető fémeket kapnak. A finom salakot és a porleválasztókból kikerülő anyagot adalékanyagokkal megszilárdítják, majd az ívkemencében megolvasztják. Az olvadt salak üvegszerű terméként távozik az olvasztóból. A kemencéből kikerülő gázokat még utóégetik és tisztítják annak érdekében, hogy mérgező szerves vegyületek ne képződjenek újra.

## 7. Salak és pernye elhelyezésének lehetőségei

A kemencéből távozó salak és a füstgázból leválasztott pernye rendezett lerakóhelyen elhelyezhetők, amennyiben a minősítése azt megengedi. A salaknak jelenleg egyetlen hasznosítási lehetősége ismert, minősítés után, az utépítésre történő felhasználás.

## 8. A pirolízis alkalmazása, reaktortípusok

A pirolízises eljárásnál a meleg szétbomlasztást, levegő nélkül ( $\lambda = 0$ ) légfelesleggel hajtjuk végre. A termikus kigázosítás olyan folyamat, amelynél a hulladék levegőtől elzárt melegítése során pirolízis-gáz és pirolízis-kocsz keletkezik. A hulladékkezelés második lépésében a pirolízis-gáz és a pirolízis-kocsz utókezelése történik.

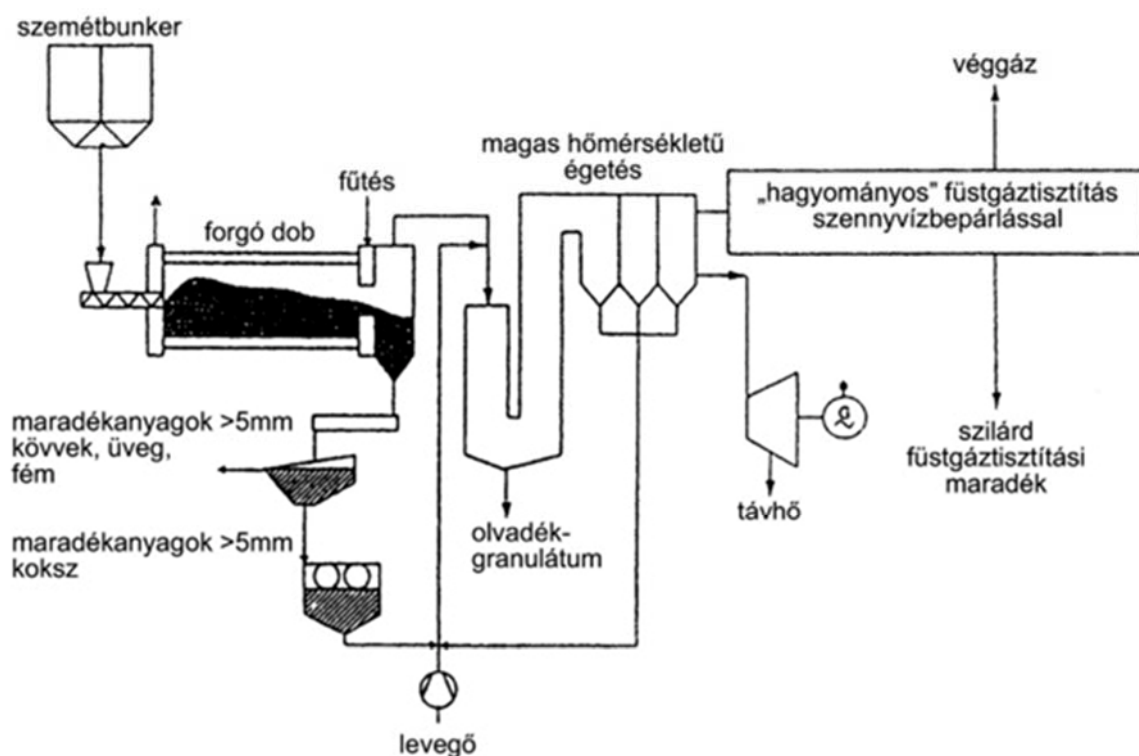
A pirolízis tulajdonképpen külső hevítéssel végzett száraz átalakítás, amely során a hulladék 400–700 °C-ra hevítve éghető gázokká alakul át, amely során illó részek keletkeznek. A visszamaradó, nem éghető szilárd rész a salak. A nagy széntartalmú hulladékok éghető anyaga nem tud teljes mértékben elgázosodni, hanem a széntartalom egy része is – elégetetlenül – a szilárd maradékban marad.

A parciális pirolízis technológiáját az jellemzi, hogy az első égéstérben csak annyi égéslevegővel történik a hulladék égetése, hogy az égéstérben a hőmérséklet az előírt hőmérséklet-tartományban maradjon. Ezen a hőfokon a hulladék egy része elég, más része csak elgázosodik, illetve izzó szénként marad az égéstérben, végül szintén megmarad a nem éghető rész, a salak. A füstgázok az első, az ún. pirolízis kamrából tovább áramlanak a második (vagy a harmadik) égéstérbe. A parciális pirolízis azt jelenti, hogy az égési folyamat első lépcsőjében a hulladék részlegesen pirolizál, és részlegesen oxidálódik, de a pirolitikus reakciók vannak túlsúlyban az oxidációhoz képest. Ezt a technológiát szokás pirolitikus égetésnek is nevezni.

A pirolízises eljárások több változata ismeretes, melyekben a pirolízis, a gáz égetés, a maradvány kezelés és a gáztisztítási technológiák szerint különböznek .

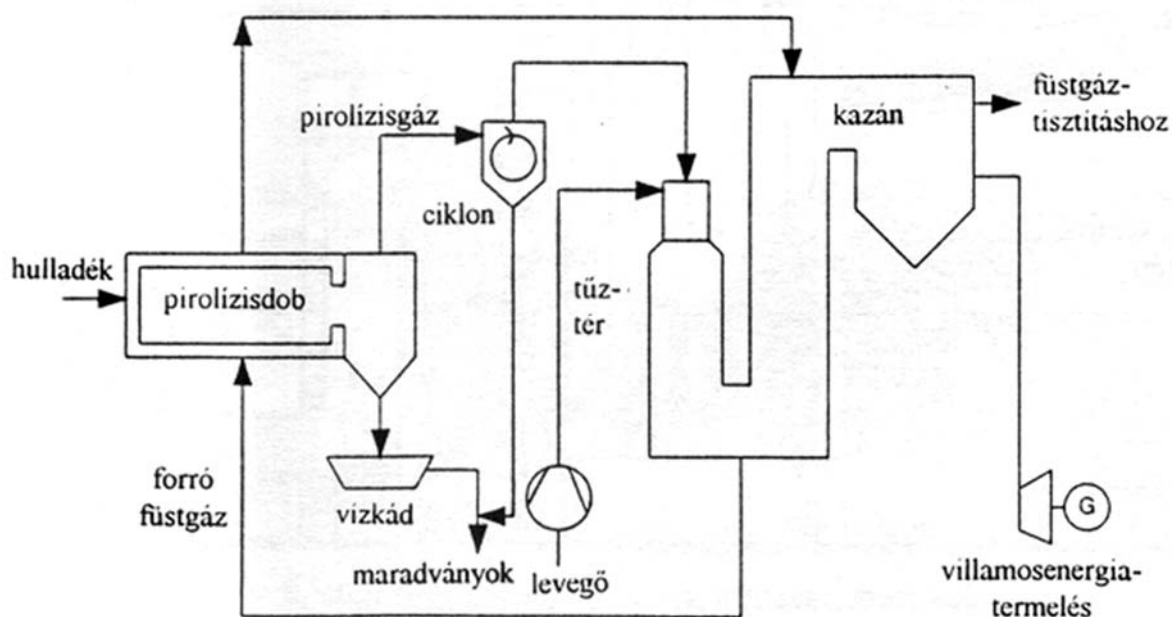


A Schwel–Brenn eljárásról ismert pirolitikus eljárás során az aprított hulladékot a köpenyoldalról indirekt módon fűtött forgó dobba vezetik, ahol megtörténik a kiszáradás és a kigázosodás. A pirolízis kb. 450 °C-on megy végbe, miközben pirolízis gáz ún. svélgáz keletkezik. Ezt a gázt közvetlenül a nagyhőmérsékletű égetőkamrába vezetik. A keletkezett szilárd maradékot osztályozzák, a fémeket leválasztják belőle. A finom frakció, melynek mérete kisebb, mint 5 mm, az izzítási kokszot tartalmazza, így ezt a svélgázzal együtt a nagyhőmérsékletű tüztérbe vezetik. A tüztér aljáról vezetik el az olvadékot, majd granulálják. A kazánban előállított hő energetikai célra felhasználható. A tüztér elhagyó füstgáz hagyományos füstgázkezelésre kerül. Egy tüztérhez több pirolízis dobot lehet használni. A dobok fűtése megoldható villamos fűtéssel vagy földgáz felhasználásával.



22. ábra. A Schwel–Brenn eljárás technológiai vázlata

A pirolízises eljárások egy másik elterjedten alkalmazott módszere az ún. Babcock eljárás.



23. ábra. A Babcock-eljárás technológiai vázlata

A Babcock technológiánál az aprított hulladékot a forgó dobba vezetik, ahol 450 – 500 °C-on történik a kiszáradás és a kigázosodás. A hulladékhoz meszet adnak, hogy a gáz savas részeit megkössék. A pirolízis dobot elhagyó maradék vízkádas salakkihordóból kerül deponálásra. A dobban keletkezett forró pirolízis gázt ciklonba vezetik, ahol a gázzal elragadott szilárd anyagokat leválasztják. A szilárd anyagok a salakkal együtt deponálóba jutnak. A ciklont elhagyó gázokat kb. 1200 °C-on elégetik. A forró füstgáz egy részét használják fel a dob fűtésére. A hőhasznosító gőzkazánban. Kb. 250 °C-ra hűtik le a füstgázt, melyet azután a szokásos módon füstgáztisztításra vezetnek. A kazánban termelt gőzt villamos energia termelésre hasznosíthatják.

## TANULÁSIRÁNYÍTÓ

Olvassa el a szakmai információtartalmat, készítsen lényegre törő vázlatot a tananyagból! Miután elkészült a vázlattal, az alábbi kérdéseket gondolja át még egyszer!

1. Gondolja végig, milyen szempontokat kell figyelembe vennie, ha aprító berendezést kell választania a saját vállalkozásához!
2. Foglalja össze saját szavaival a hulladéktömörítő berendezések működési elveit, a hulladékfázis-szétbontás módszereit és a hulladékkomponens-szétválasztás technológiáját!
3. Beszélje meg társával az optikai szeparátorokban történő hulladék beágyazásának technológiáit!
4. Gondolja át és foglalja össze a biogázképződés és a hulladékégetés technológiai folyamatát, valamint a füstgáztisztítási technológiákat!

## ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

### 1. feladat

Mondjon 2-2 példát durva-és finom aprítást végző gépekre, melyeket beszerezhet a hulladékkezelő üzemébe!

---

---

---

### 2. feladat

Biohulladék aprításával foglalkozó vállalatába milyen aprítógép fajták közül választ?

---

---

---

### 3. feladat

Amikor az alkalmazható fázisbontási eljárást kell kiválasztania, milyen tényezőket kell figyelembe vennie?

---

---

---

---

### 4. feladat

Mit értünk a hulladék beágyazása alatt?

---

---

**5. feladat**

Sorolja fel azt a három fázist, melyet a komposzt előállításnak során érintenie kell!

---



---



---

**6. feladat**

Mire szolgál az idegenanyagok eltávolítása a komposztálás során, és milyen módszerekkel történhet?

---



---



---



---

**7. feladat**

Mely alapadatok szükségesek a hulladékégetéshez?

---



---



---



---

**8. feladat**

Melyek a hulladékégetők jellegzetes porleválasztó berendezései?

---

## MEGOLDÁSOK

### 1. feladat

Durva aprítás: hidraulikus vágóollók, ütköztető-törők, hengeres-törők, pofástörők

Finom aprítás: vágómalmok, koptatómalmok, röpitő-malmok

### 2. feladat

Kalapácsos ütő aprítók, késes aprítók, csigás aprítók, hengeres, poligonos törők, rostaköpenyes aprítók

### 3. feladat

Az alkalmazható fázisbontási eljárás kiválasztásakor figyelembe kell venni a kezelendő hulladék anyagi jellemzőit, mennyiségét és a helyi adottságokat.

### 4. feladat

A hulladék: stabilizálását, szilárdítását, kapszulázását.

### 5. feladat

1, nyersanyagok előkészítése 2, komposztálás intenzív érlelés 3, konfekcionálás, utókezelés

### 6. feladat

Az idegenanyagok eltávolítása a komposzt minőségének javítását szolgálja. Ez történhet rostálással (hengerrosta, dobrosta alkalmazásával), mágneses fémkiválasztóval, manuális kiválasztással (kézi válogatással).

### 7. feladat

halmazállapot; kémiai összetétel; fűtőérték; sűrűség; a hamu olvadási jellemzői; szilárd hulladékoknál a szemcseméret-eloszlás, a maximális darabnagyság; folyékony és iszapszerű hulladékoknál a viszkozitás, a gyulladás- és lobbanáspont; halogénanyag-tartalom; mérgezőanyag-tartalom stb.

### 8. feladat

A hulladékégetők jellegzetes porleválasztó berendezése a porleválasztó ciklon, az elektrosztatikus porleválasztó és a szűrő.

## IRODALOMJEGYZÉK

### FELHASZNÁLT IRODALOM

Dr. Barótfi István: Környezettechnika mezőgazda kiadó 2000

<http://www.profikomp.hu/index2.php?tid=100&act=readarticle&mit=6> (2010. 09.12.)

Biogáz a kommunális hulladékból / Magyar –EU Energia Központ / Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium

### AJÁNLOTT IRODALOM

23/2003. (XII. 29.) KvVM rendelet a biohulladék kezeléséről és a komposztálás műszaki követelményeiről

MUNKANYELV



A(z) 1217-06 modul 011-es szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
54 850 01 0010 54 02	Hulladékgyűjtő

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:  
14 óra

MUNKANYELV

MUNKANYAG

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv  
TÁMOP 2.2.1 08/1-2008-0002 „A képzés minőségének és tartalmának  
fejlesztése” keretében készült.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap  
társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet  
1085 Budapest, Baross u. 52.

Telefon: (1) 210-1065, Fax: (1) 210-1063

Felelős kiadó:  
Nagy László főigazgató