**5.10. A hulladékkezelés termikus eljárásai**

A hőátadással járó termokémiai eljárások közül a hulladékfeldolgozás terén betöltött sajátos szerepük és jelentőségük miatt önálló fejezetben tárgyaljuk a két legfontosabb termikus eljárást: a hulladékégetést és a hőbontást. Ezeknél az anyagátalakítási folyamat döntő mértékben hő hatására következik be.

A termikus eljárásokat tehát két nagy csoportra osztjuk:

* oxidatív lebontás sztöchiometrikus vagy többszörös oxigén (levegő) adagolásával (égetés)
* reduktiv lebontás a sztöchiometrikus aránynál kisebb oxigén biztosításával vagy annak teljes kizárása mellett (pirolízis)

**5.10.1. A hulladékégetés és technika feltételrendszere**

A hulladékégetés a hulladékok ártalmatlanításának termikus módszere, mely világszerte a környezetvédelmi vizsgálatok központjában áll, számos előnyének illetve hátrányának komplex értékelése mellett.

A hulladékégetés előnyei:

* a keletkező hulladékok térfogatát és tömegét jelentősen csökkenti (ezáltal kisebb anyagmozgatás, kisebb elhelyező terület, földhasználat szükséges)
* az égetés energiatermeléssel jár, a keletkezett hő hasznosítható,
* az eljárás közegészségügyi szempontból a leghatékonyabb, mivel a kórokozók elpusztulnak.

A hulladékégetés hátrányai:

* az égetés másodlagos környezetszennyezéssel jár (légszennyezés, pernye, salakelhelyezés problémái)
* ökológiai szempontból kedvezőtlen, mivel a termikusan bontott anyag kikerül a természetes körforgásból,
* beruházási és üzemeltetési költségei lényegesen magasabbak a hagyományos eljárásoknál (komposzt, biogáz, lerakás)

A hulladékégetés exoterm folyamat. Az égetés során a hulladék szervesanyag komponensei a levegő oxigénjével reagálva gázokká, vízgőzzé alakulnak és füstgázként távoznak a rendszerből. Az éghetetlen szervetlen anyag salak, ill. pernye alakjában marad vissza.

A hulladékégetés során a gyakorlatban a legkülönfélébb típusú és kémiai összetételű anyagokat kell elégetni. Ez az égetési viszonyokat nagymértékben bonyolulttá, az égési reakciót pedig rendkívül heterogénné teszi.

A kifogástalan elégetéshez

* megfelelő hőmérséklet,
* megfelelő áramlási viszonyok,
* tartózkodási idő,
* valamint a szokásosnál nagyobb mennyiségű levegő bevezetése szükséges.

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

A legtöbb hulladékégetőben a szervetlen maradékok (salak, pernye) lágyulás-olva-dási jellemzői miatt a tűztéri hőmérséklet nem haladja meg az 1050–1100 °C-ot. Az égetés 1200–1700 °C-on is végezhető, ekkor beszélünk salakolvasztásos hulladékégetésről. Ekkor a szilárd maradék olvadékként távozik az égéstérből.

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

A hulladékégetéses ártalmatlanításhoz a következők ismerete szükséges:

* halmazállapot (folyékony, pasztás, szilárd, ill. kevert);
* elemi analízissel megállapított kémiai összetétel (szén-, hidrogén-, oxigén-, nitrogén-, kén-, víz-és hamutartalom);
* gyors analízissel megállapított összetétel (fix szén-, illóanyag-, víz-és hamutartalom);
* fűtőérték;
* sűrűség;
* a hamu olvadási jellemzői;
* szilárd hulladék esetében szemcseméret-eloszlás, maximális darabnagyság, valamint anyagfajták szerinti összetétel;
* folyékony hulladék esetében viszkozitás, gyulladás-és lobbanáspont, valamint szilárd szennyezőanyag-tartalom és annak legnagyobb szemcsemérete, továbbá a kémhatás;
* halogénanyag-tartalom (kloridok, fluoridok, bromidok);
* nehézfémtartalom (ólom, kadmium, higany, réz, vanádium stb.);
* egyéb fémtartalom (vas, kalcium, nátrium stb.);
* egyéb mérgezőanyag-tartalom (PCB);
* egyéb specifikus anyagi tulajdonságok szükség szerint (pl. fertőző tulajdonság, hőmérséklet stb.);
* mennyiségi adatok (szélső határok és átlagértékek).

Tüzeléstechnikai szempontból elsősorban a kalorikus tulajdonságok fontosak (fűtőérték, éghetőanyag-tartalom, víztartalom és hamutartalom).

Ezek egymástól nem függetlenek, erős kölcsönhatás van közöttük *(5.53. ábra)*. Az ábrán a vastagon bekeretezett rész jelöli az önálló éghetőség tartományát.

**5-53. ábra - A hulladékok fontosabb kalorikus jellemzői közötti összefüggés**

Tüzeléstechnikai szempontból nem elhanyagolhatók a hulladék egyéb fizikai és kémiai tulajdonságai sem (szemcseméret, korrozív hatás, gyulladásés lobbanáspont, viszkozitás stb.). Ezek ismerete nemcsak a berendezés kialakításához fontos, hanem az előkezelő és a betáplálási folyamatok műszaki megoldása szempontjából is.

A hulladékégetők anyag-és energiamérlegének kiszámításához ismerni kell:

* a hulladék kémiai összetételét és fűtőértékét;
* a hulladék égethető komponenseinek égésére vonatkozó égésegyenleteket;
* az égéslevegő és füstgáz mennyiségét és összetételét;
* tapasztalati mérési adatokat a maradékanyagok mennyiségére és összetételére;
* a tüzelőberendezés működési jellemzőit.

Az energiamérleg összeállításához a következő gyakorlati szempontok ajánlottak:

* az elégetett tüzelőanyag hőtartalmának 70–80%-át lehet gőztermelésre hasznosítani;
* a füstgázokkal távozó hőveszteség nagysága 16–30%;
* a salak kiégetlen alkotórészeivel távozó hőveszteség 1,5–3%;
* a salakkal kihordott hőveszteség 1,5–3%;
* a kazán sugárzási vesztesége 1–2%.

Hőhasznosítás hiányában a füstgázokkal távozó hőveszteség 92–95%.

A hulladékégető berendezés kapacitását a tüzelőberendezés konstrukciójától függő legnagyobb hőteljesítmény figyelembevételével, lényegében az égetendő hulladék fű-tőérték-tartománya határozza meg (a hulladék legnagyobb és legkisebb fűtőértéke).

A hulladékégetés technológiája a következő részfolyamatokra tagolódik: átvétel (fogadás) és tárolás, anyagelőkészítés és adagolás, égetés és hőhasznosítás, füstgázhűtés és -tisztítás, salak-és pernyekezelés. Az általános technológiai folyamatot az *5.54. ábra* szemlélteti.

**5-54. ábra - A hulladékégetés általános technológiai folyamata**

1. tárolás; 2. anyag-előkészítés; 3. adagolás; 4. égetés; 5. póttüzelőanyag; 6. levegő; 7. füstgázhűtés; 8. hőhasznosítás; 9. füstgáztisztítás; 10. mosóvízkezelés; 11. kémény; 12. pernyeválasztás; 13. salakgyűjtés- és kihordás; 14. salak- és pernyetárolás

E az ábra egyben jól érzékelteti a hulladékégetés in-put-output elvi anyagmérlegét is,

ahol a bemenő anyagok:

* égetendő hulladék,
* égéslevegő,
* segédtüzelés;

a kimenő anyagok (a teljes ciklust figyelembevéve):

* salak, hamú,
* pernye és/vagy elektrofilter por,
* füstgáz,
* füstgázmosó szennyvíz (nedves mosás esetén),
* mosóvíz tisztítási iszap (nedves mosás esetén),
* füstgáztisztítási maradék (száraz, félszáraz tisztítás során),
* egyéb füstgáztisztítási maradék (aktiv szén vagy egyéb szorbens).

**5.10.1.1. Tárolás, előkészítés, adagolás**

A hulladékot átvétele után tárolják. Az egyes hulladékok jellemző tárolási és mozgatási módjai:

* a szilárd hulladékot megfelelően kialakított bunkerben tárolják. Mozgatását és adagolását polipmarkolós híddaruval végzik;
* a nem szivattyúzható iszapot és nagy viszkozitású (a szakmai gyakorlatban pasztásnak nevezett) hulladékot megfelelően kialakított kazettás bunkerban tárolják. Mozgatását és adagolását serleges markolóval ellátott híddaruval végzik (a tárolótér szükségszerűen fűthető);
* a szivattyúzható iszapot és a nagy viszkozitású hulladékot fűthető, zárt tartályban tárolják, mozgatásukat és adagolásukat szivattyúval végzik;
* a folyékony hulladékot fűthető, zárt tartályban vagy hordóban tárolják. Mozgatását és adagolását speciális szivattyúkkal végzik.

A tárolóterek kapacitását az égetőmű óránkénti teljesítménye, az üzemidő és a hulladék térfogattömege határozza meg. Az üzembiztonság érdekében min. 3–5 napos feldolgozási teljesítménynek megfelelő hulladékmennyiség tárolását kell biztosítani. Magas-és mélybunkereket különböztetünk meg aszerint, hogy a bunker fenékszintje milyen mélyen helyezkedik el a külső terepszinthez képest. Gyakoribbak a magasbunkerek, amelyekbe a gépjárművek magasított ürítőtérről (rámpáról) ürítenek. A bunkerek készülhetnek osztatlan és osztott (kazettás) belső térkialakítással *(5.55. ábra)*.

**5-55. ábra - Bunkerkialakítások**

a) osztatlan magasbunker; b) osztott magasbunker 1. beürítőtér; 2. bunkertér; 3. daru markolóval; 4. adagológarat

A bunkerek az ürítéskor keletkező por, valamint a tárolási bűzös gázok kiáramlásának megakadályozása céljából enyhe szívás alatt állnak. Az esetleges bunkertüzek gyors elfojtása érdekében a tárolótereket hatékony félautomata tűzoltó berendezésekkel szerelik fel. A bunkereken belül a hulladékot többnyire polipmarkolós vagy serleges híddarukkal mozgatják, keverik és adagolják a tűztérbe.

Különösen kisebb berendezésekhez speciális képzésű acéllemezes szállítóhevederek is alkalmazhatók. Általában az adagolás egyenletessége lényegesen kihat az égésfolyamat minőségére, a tűztér közel állandó hőterhelésére, ezért a kezelőszemélyzet szakértelme, figyelme különösen fontos a jó minőségű üzemelés szempontjából. A kevert, homogenizált hulladékokat a daru az adagológaratba táplálja. Az adagológarat kettős zárrendszere megakadályozza a füstgáz és láng kicsapódását, ill. hamis levegőnek az égéstérbe kerülését. A garatokat általában vízzel hűtik és izotópos szintjelzővel látják el. A garatból a hulladék gravitációsan csúszik az adagolóberendezésbe. Az adagolók folyamatosan juttatják a hulladékot a mindenkori tüzeléstechnikai és terhelési viszonyoknak megfelelő mennyiségben és ütemben a tűztérbe.

A szilárd és nem szivattyúzható iszaphulladék általában különleges előkezelést nem igényel kivéve, ha a kemence szerkezeti megoldásai miatt méretcsökkenés szükséges, pl. aprítással. A folyékony és szivattyúzható iszaphulladékot fűtött, zárt tartályban, ill. hordóban tárolják. A hulladék a konzisztencia, a fűtőérték és a jellemző kémiai tulajdonságok (összeférhetőség) figyelembevételével elkülönítetten vagy esetenként keverten tárolható. A tartályparkot és a hordós tárolókat a vegyi üzemek telepítésekor alkalmazott biztonsági és tűzvédelmi előírások figyelembevételével kell kialakítani. A költségek szempontjából előnyösebb a felszíni telepítés.

Különös figyelmet kell fordítani arra, hogy csőtörés, szelepszivárgás, túlfolyás stb. esetén a talaj ne szennyeződhessen. Gyakori megoldás a tartályok kármentesítési funkciót is teljesítő, vasbeton műtárgyon való telepítése. Az anyagok be-és kitárolását teljesen gépesítetten (szivattyúk, csővezetékek) végzik. Hordós tárolás esetén a hordókba esetleg bedermedt anyag kiolvasztását általában gőzfűtésű zárt kamrákban oldják meg. Az anyagmozgatást szivattyúk – szükség szerint inert gáz (nitrogén) felhasználásával – végzik.

A folyékony hulladék és iszap többnyire égetés előtti előkezelést igényel, amit a hulladék anyagi jellemzői és az égetőrendszer kialakítása határoz meg.

A legszükségesebb előkezelési módszerek: méregtelenítés és semlegesítés, ülepítés (dekantálás), víztartalomcsökkentés, emulzióbontás, homogenizálás.

A folyékony hulladék és a szivattyúzható iszap tűztérbe adagolását arra alkalmas égetőfejekkel végzik. A forgóserleges égők, mivel kevésbé érzékenyek a szennyeződésekre és a folyadék viszkozitás ingadozására, továbbá széles teljesítmény tartományban szabályozhatók, folyékony hulladék (a legnagyobb szilárdanyag koncentráció 20% lehet) égetésére előnyösek. A szilárd részekkel is erősen szennyezett folyékony és iszaphulladék (a legnagyobb szilárdanyag-tartalom 70% lehet) égetésére főleg injektálásos égőfejeket használnak, amelyben gőzzel, levegővel porlasztják a folyadékot. Ezek lehetnek belső és külső keverőterű, valamint szónikus megoldásúak, kis-és nagynyomásúak. A folyékony hulladék a tárolóedényzetből kiürítéssel közvetlenül is adagolható a tűztérbe, ha erre a kemence szerkezeti kialakítása és hőviszonyai lehetőséget adnak.

**5.10.1.2. Tüzelő berendezések**

A hulladékégetők legfontosabb része a tüzelőberendezés. A tüzelőberendezések két fő csoportját:

* a rostélytüzelésű és
* a rostély nélküli hulladékégető berendezések alkotják.

A rostélytüzelésű berendezéseket főleg települési szilárd és termelési szilárd hulladék és bizonyos korlátozásokkal iszap halmazállapotú termelési hulladék égetésére alkalmazzák.

A rostély nélküli hulladékégetők főleg folyékony és pasztás hulladék, valamint iszap égetésére használatosak, azonban némelyik megoldás szilárd hulladék kezelésére is megfelelő.

**A rostélytüzelésű berendezések**

A legáltalánosabban használt rostélytípusok: hengerrostély (VKW-Babcock), visszatoló rostély (Martin), előtoló lengőrostély (Steinmüller), ellenáramú előtoló rostély (K + K Ofenbau).

További ritkábban használatos rostélytípusok: fölétoló rostély, kosárrostély, forgórostély. A rostélyok átlagos termikus terhelhetősége 2000–4000 MJ/(m2 × h). A *5.56. ábrán* néhány rostélytípus kialakítása látható. A rostélyok egyrészt biztosítják a hulladék állandó keverését, mozgatását, másrészt az égéságy megfelelő levegőztetését teszik lehetővé.

**5-56. ábra - A hulladékégetők leggyakoribb rostélytípusai**

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

A rostélyoknál lehetővé kell tenni:

* a primer levegőnek hosszirányban legalább öt zónában, egymástól független szabályozhatóságát;
* a rostély szállítási sebességének legalább három zónában (gyulladási tartományban, fő égési zónában és a kiégési zónában) egymástól független szabályozhatóságát;
* a hulladékréteg intenzív bolygatását, keve rését;
* a rostélyszőnyegen lévő levegőrések azonos méretét és egyen letes elosztását;
* a hűtőlevegő-igény legfeljebb az égési levegő tüzelőágybe vezetett mennyiségével azonos legyen.

A feltételeknek legjobban a hengerrostély, az ellenáramú és a visszatoló rostély felel meg. A primer levegő (a tüzelőanyagágyba vezetett alsó szél és az oldalfalakról bevezetett levegő) az összes levegőszükségletnek kb. 70–80%-a. Ez egyben a rostély hűtését is biztosítja. A kiszárítási és begyújtási zónába vezetett alsó szél célszerűen 120–180 °-ra előmelegítendő. Az égésgázok levegővel keveredése és kiégetése a tűztérben történik. A tűzterek átlagos termikus terhelhetősége 400–1000 MJ (m3 × h).

A füstgáz és a levegő áramlási iránya szerint egyenáramú, ellenáramú és kombinált áramú tűztérformák különböztethetők meg *(5.57. ábra)*. Az egyenáramú tüzelés során a kis fűtőértékű tüzelőanyag kiszárítása és begyújtása nehezebb. Ezt a gondot az égéshez használt levegő előmelegítésével csökkentik.

**5-57. ábra - Tűztérváltozatok**

a) egyenáramú; b) ellenáramú; c) kombinált áramú

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

A két megoldás közötti áthidaló megoldás a kombinált áramú tüzelés. Ez utóbbiban az egyenáramú – szárítási és gyulladási zónából származó – részgázáramot elterelik és a turbulenciazónában a fő égési zónából érkező forró gázárammal és a befúvott szekunder levegővel összekeverik a tökéletes kiégetés érdekében. A nagyobb fűtőértékű hulladékok esetében a forró zónán való biztos áthaladás miatt az egyenáramú tűztérmegoldásokat részesítik előnyben. Erősen ingadozó fűtőérték-tartomány esetén előnyösebbek a turbulenciazónájú kombinált áramú tűztérformák.

A szekunder levegő részarányát célszerű kis értéken tartani. A nagyobb részarány nem optimális tüzelésre utal. A kisebb részarány főként egyenáramú tüzeléssel valósítható meg és részben a kombinált áramú tüzeléssel (a forró zónán átkényszerített gázáramban az égéstermék bomlási maradékai kevesebb levegő bekeverésével érhetők el). A szekunder levegő hőmérsékletét az utóégetőtér szén-monoxid-tartalmától függően kell szabályozni. A befúvást nagy impulzussal kell végezni.

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

Az égetendő anyag fűtőértékének ingadozása miatt gyakorlatilag nem nélkülözhető a póttüzelés, amihez olaj-vagy gázégőket használnak. A póttüzelés célja és az égők beépítési helye szerint megkülönböztetünk stabilizáló-és teljesítményégőket. Az égőket a hatásosabb kiégetés érdekében célszerűbb közvetlenül a tűztérben és nem az utóégetőtér elején beépíteni.

A tűztérhőmérséklet az égéslevegő mennyiségével és hőmérsékletével, valamint a szükség szerinti póttüzeléssel a kívánt határok között tartható. A rostélytüzelésű égetőket is folyamatosan fejlesztik. Ennek célja a hatékonyabb tüzelés, a biztonságosabb üzemelés fokozása és a másodlagos környezetszennyezés csökkentése.

**Rostély nélküli berendezések**

A rostély nélküli hulladékégetők főként a tűztér kialakításában különböznek a rostélyos berendezéstől. A rostély nélküli hulladékégetők tűztere általában hengeres, ezáltal majdnem kétszeresére növelik a hősugárzás intenzitását. Ez kisebb veszteséget okoz. Ezek a berendezések típustól függően salakolvasztásos üzemmódban is üzemeltethetők.

Lényegesebb típusaik: forgódobos kemencék, égetőkamrák, emeletes kemencék, fluidizációs kemencék, egyéb speciális tűzterek.

A *forgódobos kemence* tűzálló falazattal kibélelt hengeres tűztér, amely a vízszinteshez képest enyhén lejt és lassan forog. A fordulatszám és a dőlésszög változtatásával szabályozható a hulladék tartózkodási ideje. Az anyagi jellemzőktől függően a hulladék kiégetési időtartama a kemencében 15–70 min. A kemencébe táplált anyag folyamatosan keveredik, a keveredés során fellazult anyagból a bomlási és égési gázok gyorsan távoznak és ezáltal a viszonylag kis dobhőmérsékleten is gyors és egyenletes égés érhető el. A hulladék mozgása a dobban kétirányú. Egyrészt a henger palástjával együtt mozog, majd visszacsúszik, miközben tengelyirányban is elmozdul. Az égéságy és a falazat közötti súrlódás következtében az ágy keresztmetszetében elnyúlik és konkáv formát vesz fel, ami által megnő az égéságy aktív felülete is. Ez a kétirányú mozgás az anyagforgalom és a tökéletes elégés szempontjából is nagy jelentőségű.

A hulladék és a füstgázok áramlási iránya egyenáramú üzemmódot eredményez, ami a szárítási-gyulladási zónából származó bomlási termékek forró zónán való átvezetését teszi lehetővé, és így lényegesen javul a kiégés hatásfoka. Az *5.58. ábra* a forgódobos kemence termodinamikai viszonyait ábrázolja.

**5-58. ábra - A forgódobos kemence hőmérsékleti szakaszai**

a) vízgőz; b) éghető anyag; c) salak; d) salakolvadék; e) falazat

Az égési zónában felszabaduló hő a dob tűzálló falazatát felhevíti és a dob elfordulása révén az elégetendő hulladék alá fordul. Ez fokozza a beadagolt anyag előmelegítését és kigázosodását, valamint hatásos kiégetését. Így a hőátadás konvektív és sugárzásos úton egyaránt végbemegy és bizonyos esetekben az anyag hevülési sebessége elérheti a 90–100 °C/s értéket is.

A dob végén a kiégés folytán keletkezett füstgázok nagy mennyisége és a hőmérséklet növekedése miatt az áramlási ellenállás olyan belső turbulenciát eredményez, amely az égetési folyamatot jelentősen segíti. Ezáltal a gázáramban jelenlévő még éghető gázok és gőzök által elragadott pernye teljes kiégetése is elérhető. A jó turbulencia ellenére sem biztosítható azonban mindenkor az égésgázok tökéletes kiégetése magában a tűztérben, ezért a forgódobhoz 900–1000 °C hőmérsékleten üzemelő utóégetőtér csatlakoztatása általában nem nélkülözhető. Itt az égésgázokat biztonságosan olaj-vagy gázégőkkel égetik el. Az utóégetőtérben folyékony hulladék elégetésére nyílik lehetőség. Az utóégetőtér többnyire négyszög keresztmetszetű. Újabban az optimális áramlási viszonyok érdekében kör keresztmetszetű utóégetőterek kialakítását szorgalmazzák.

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

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

Az ipari hulladék égetésére alkalmazott forgódobos kemence kialakítását szemlélteti az *5.59. ábra*. Az *5.60. ábrán* veszélyes hulladék égetésére alkalmas regionális égetőmű folyamatvázlata látható.

**5-59. ábra - A forgódobos kemence felépítésének vázlata**

1. adagológarat szilárd anyag számára; 2. hidraulikus adagolómű; 3. csigás adagoló iszapok számára; 4. a kemence fejrésze; 5. kifalazott forgódobos kemence; 6. utóégető tér; 7. folyékony hulladék égetése; 8. nedves rendszerű salakkihordó; 9. hajtómű

**5-60. ábra - A forgódobos kemencével felszerelt korszerű veszélyes hulladékégető mű**

A. folyékony hulladék beszállítása és lefejtése; B. szilárd és iszaphulladék beszállítása; C. hordóshulladék-feladás, D tápvíz; E. tisztított füstgáz; F. iszaplepény; G. tisztított szennyvíz; H. salak és pernye 1. folyékony hulladéktároló tartályok, homogenizáló és fűtőolajtartály; 2. szilárd hulladék bunker; 3. iszaphulladék bunker gőzfűtéssel; 4. hulladékadagolás; 5. forgódobos kemence; 6. utóégető tér; 7. kazán; 8. elektrofilter; 9. füstgázmosó; 10. füstgáz-újrahevítés; 11. kémény; 12. szennyezett mosóvíz tisztítása; 13. szennyvíz utókezelés; 14. kamrás szűrőprés; 15. turbina generátorral; 16. léghűtéses kondenzátor; 17. tápvíz-előkészítés; 18. salak- és pernyekihordás

Az *égetőkamrák* horizontális vagy vertikális elrendezésű, kifalazott hengeres égésterű, fix kemencék, amelyekben megfelelő áramlási viszonyok kialakításával és különböző porlasztókkal, adagoló égetőfejekkel égethető el folyékony hulladék, valamint iszap. Egyszerű felépítésük és rugalmas alkalmazási lehetőségeik miatt igen elterjedtek. Áramlási viszonyaik szerint vannak párhuzamos áramú, keresztirányú, ellenáramú és ciklon rendszerű kemencék (*5.61.* és *5.62. ábrák*).

**5-61. ábra - Égetőkamrák alaptípusai**

a) párhuzamos áramú; b) keresztáramú; c) ellenáramú 1. tüzelőanyag-feladás; 2. égéslevegő; 3; tűztér

**5-62. ábra - Ciklon rendszerű égetőkamra vázlata**

1. égetőfej; 2. hűtőlevegő; 3. égéslevegő (primer levegő); 4. égéslevegő (szekunder levegő); 5. levegőbevezető huzatok; 6. tűzálló falazat; 7. tűztér; 8. füstgáz a mosóba; 10. válaszfalak; 11. gázégő; 12. gázáram

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

A keresztáramú tűztérkiképzés a jobb megoldás. A szekunder levegőt több radiális furaton át, nagy kinetikai energiával a kamra tengelyére merőlegesen fújják az égéstérbe. A keresztáramlás révén egyrészt az égési levegő a forró füstgázzal keveredve előmelegszik, másrészt a félig elégett, ill. részben kiégett füstgázokat elegendő oxigénhez juttatva a teljes kiégés meggyorsul. Az ilyen rendszerű kemence rövidebb és így építési költsége is kisebb.

A keresztáramú rendszert nehezen égethető hulladék (pl. emulziók, anyalúg, szennyvíz) ártalmatlanítására használják. Főként ez a típus alkalmas iszapállapotú (és pasztás), esetleg előaprított szilárd maradék égetésére is. Ez esetben utóégetőteret is kell csatlakoztatni hozzá úgy, mint a forgódobos kemencéhez. Keresztáramú kemence kétkamrás változatban is készül úgy, hogy a beadagolás közelében alakítanak ki egy ún. lángteret, ahol primer levegővel előégetést végeznek. Az előégetést végezhetik légfelesleggel és léghiánnyal is. Ez utóbbi akkor célszerű megoldás, ha a hulladék szerves nitrogénkötései miatt a nitrogén-oxi-dok csökkentését kívánják elérni.

A lángtér utáni reakciótérbe vezetik be a keresztáramú szekunder levegőt és itt égetik ki tökéletesen az égésgázokat.

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

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

Az égetőkamrákban a tapasztalatok szerint a 12 MJ/kg-nál nagyobb fűtőértékű folyékony hulladék 1300 °C-nál nagyobb tűztérhőmérsékleten a másodperc törtrésze alatt teljesen elég. A kisebb fűtőértékű folyékony hulladékot póttüzeléssel együtt kell égetni és a teljes kiégéshez 800–1100 °C hőmérsékletnél 1–2 s tartózkodási idő szükséges, ha a légfelesleg átlagosan 10–20%. A hulladékok kémiai összetétele döntően befolyásolja az égéstér kialakítását és az égetés paramétereit. Ezeket általában égetési kísérletekkel határozzák meg. A póttüzelés mértéke függ a reakció hőmérséklettől, a szükséges légfeleslegtől és a hőveszteségtől. Az égetőkamrákat legtöbbször azért építik vertikális elrendezésűre, mert így helyet takarítanak meg vagy azért, mert a szilárd maradékokat egyszerűbben lehet eltávolítani (ezek ilyenkor kihullanak az égéstérből). Az égetőkamrák legnagyobb hőteljesítménye szerkezeti okokból általában nem lehet több, mint 40–45 GJ/h.

A szilárd hulladék égetésére általában csak speciális felszerelésekkel ellátva (adagoló, utóégető stb.) alkalmasak.

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

A kemence légfelesleg tényezője: 1,4–1,6.

A füstgázok kiszárítják az ellenáramban mozgó anyagot, majd kb. 250–540 °C-on távoznak a kemencéből. A szárítószakaszban az átlagos hőmérséklet 350–550 °C, az égetőszakaszban pedig 780–980 °C. Nagyobb hőmérsékleten a salak megolvad.

Az alsó szakaszban részben lehűtött salakot folyamatosan távolítják el és a nedves rendszerben hűtik. A vázolt ellenáramú megoldásban a füstgázok hőtartalmának egy részét közvetlenül hasznosítják a víz elgőzölögtetéséhez és ezzel póttüzelőanyagot takarítanak meg. Hátránya a bonyolult üzemeltetés és a gyakori meghibásodási lehetőség, valamint a viszonylag nagy beruházási költség.

A *fluidizációs (örvényágyas vagy fluidágyas)* kemencében a nagyfokú, intenzív hőés anyagátadás miatt igen nagy fajlagos égetési teljesítmény érhető el. Folyékony, pasztás és aprított szilárd hulladék, valamint iszap kezelésére egyaránt alkalmas. A fluidizációs kemence égéstere henger alakú, amelynek alján megfelelően kiképzett tartórostélyon finom szemcsés, ömlesztett anyagból álló réteg helyezkedik el.

Ezt az anyagot a rostélyon átfúvott levegőáram tartja lebegő, örvénylő mozgásban (örvényáram). A kemence szerkezete egyszerű, nincsenek benne mozgó alkatrészek. Technológiai szempontból a fluidizációs kemencében nagyrészt egyenáramú folyamat megy végbe. Az égetendő anyag az örvényrétegbe esik vagy részben az örvényréteg felett porlasztják be. Elgőzölögtetéssel, bomlási és gázosodási reakciókkal a komponensek illóvá válnak, jól elkeverednek az égetéshez szükséges levegővel, az örvényréteg felett elhelyezkedő gázrétegig jutnak és ott gyorsan reagálnak. Az ehhez szükséges tartózkodási idő rövid, általában az égetőkamrákban szükséges időtartamnak felel meg. A szilárd anyagrészecskéket, amelyek gyakran hosszabb kiégési időt igényelnek, tovább tartják az örvényágyban. Az égési zóna felett helyezkedik el a fő égéstér, amelynek térfogata az égésgázok tökéletes kiégetési követelményeinek megfelel.

Az égés javítására esetenként a fő égéstérbe szekunder levegőt is fújnak be. A kemence szokásos tűztérhőmérséklete 750–850 °C. Ezek a technológiai jellemzők magyarázzák, hogy az utóbbi időben miért terjedt el ez a kemencetípus. A hulladék víztartalma 65–70% is lehet. E kemencetípusnak az is előnye, hogy jellemzői miatt viszonylag gyorsan üzembe helyezhető és ezért szakaszosan is üzemeltethető.

A fluidizációs kemence a hulladéktól és a kiegészítő berendezésektől függően többféleképpen kialakítható *(5.63. ábra)*.

**5-63. ábra - Fluidizációs kemence építési módjai**

1. hulladék; 2. levegő; 3. füstgáz; 4. hamukihordás

Az égés során visszamaradó hamu a kemence fejrészén távolítható el vagy az örvényágyból az ágy anyagával együtt vehető ki. Felső eltávolítás esetén a ha-mu az utánkapcsolt füstgáztisztító berendezésekbe kerül. Az ágygyal együtt való kihordás során közvetett vagy közvetlen hűtésről kell gondoskodni. A fluidizációs kemence szokásos légfelesleg tényezője: 1,1–1,3. A légfelesleg csökkenthető kis szemcseátmérőjű égéságyanyag alkalmazásával, ill. a kemence átmérőjének szűkítésével, a rostély síkjában.

Az örvényágy szokásos vastagsága 0,5–3 m. A füstgázok hőenergiáját általában az égéslevegő kívánt mértékű előmelegítésére hasznosítják. Speciális esetekben a hő kazánban is hasznosítható. Erre legjobban beváltak az örvényágyban elhelyezett hűtőcsövek, amelyek kb. 10%-kal jobb hatásfokúak, mint az utánkapcsolt kazán. Az utánkapcsolt kazán hatásfokát és élettartamát nagyon csökkenti a füstgázok nagy porés pernyetartalma.

Az örvényágy anyag finom szemcsés kvarc, korund vagy bazalt. Számos ipari hulladékfajta égetésekor a hamu és az ágy anyaga közömbösen viselkedik, ha azonban a hamu megolvad, akkor az ágy anyagának ragadásával, zsugorodásával kell számolni (üzemzavar). Különösen olyan hulladék esetében fordul ez elő, amely alkálisókat (pl. nátrium-kloridot, nátrium-szulfátot) tartalmaz.

Speciális tűztérmegoldásúak a különböző egyéni építésformákkal kiképzett salakolvasztásos égetőkamrák, a szállítóhevederes kemence és a kupolókemencéhez hasonló felépítésű salakolvasztásos égetők.

Ezek többségének fejlesztése folyamatban van, nagyüzemi alkalmazásuk néhány kivételtől eltekintve nem széles körű. Az utóbbi évtizedekben számos új termikus hulladékkezelési eljárást fejlesztettek ki, amelyek lényegében az égetésnek mint oxidációs folyamatnak valamilyen speciális változatai. Ezek a sóolvadékos kemencék, a nagyhőmérsékletű fluidágyas kemencék, az infravörös és mikrohullámú kemencék, valamint a plazmaíves eljárások.

*Plazmaíves technológia* nagy hőmérsékletű gázt vagy gázelegyet használ fel szerves hulladék hőbontására, tehát különleges pirolízistechnológiának is tekinthető. A plazmát a gáz vagy gázelegy (pl. levegő) 10000–15000 °C-ra vagy ennél nagyobb hőmérsékletre (max. 25000 °C-ra) hevítésével állítják elő úgy, hogy a gázt a plazmagenerátorban két elektród között létrehozott íven vezetik át. Az ilyen módon ionizált gáz – a gáz típusától függően – lehet oxidáló, redukáló vagy inert hatású. Veszélyes hulladék kezelésére oxidálóatmoszféra szükséges. Az ionizált gázplazma lehűlésekor elegendő hőenergia szabadul fel a veszélyes hulladék molekuláinak elbontásához szükséges endoterm folyamatokhoz. A plazmareaktorban előállított ionizált plazmaáramot a rakciótérbe vezetik, ahová ugyancsak betáplálják az elbontandó folyékony hulladékot (pl. klórozott szerves hulladékokat).

A plazmaállapotú gáz és a hulladék kölcsönhatása következtében a molekulák atomokra hasadnak. Az egyensúlyi zónában a lehűlő gázáramban az atomok egyszerűbb, kevésbé vagy nem veszélyes termékké (hidrogén-klorid, szén-monoxid, szén-dioxid, oxigén-, kén-dioxid-, hidrogéngázzá, finom szénné stb.) alakulnak. Az így nyert gázterméket mosón átvezetve tisztítják, majd hőtartalmát energianyerésre hasznosítják. A plazmaíves technológia a különböző klórozott szerves vegyületek, köztük a nagy PCB-tartalmú hulladékok, valamint a viszonylag nagyobb hőmérsékleten is stabil anyagok (pl. metil-etil-keton, szén-tetraklorid) nagy hatásfokú hőbontására előnyösen alkalmas.

Az eddigi vizsgálatok szerint teljesen ártalmatlaníthatók az említett anyagok. A plazmaíves eljárás előnye a veszélyes hulladék kezelése szempontjából egyszerű kiépítés és az elérhető nagy ártalmatlanítási hatásfok. Hátránya viszonylag a nagy fajlagos energiaigény.

**5.10.1.3. Füstgázhűtés, hőhasznosítás**

A hulladékégetés füstgázai a tűztérből 900–1000 °C-on vagy ennél nagyobb hőmérsékleten távoznak és azokat a tisztítóberendezések hőtűrő képessége miatt és a harmatponti korrózió elkerülésére 250–350 °C-ra le kell hűteni. A füstgáz hűthető közvetlen és közvetett módszerrel. A közvetlen módszer esetében a füstgázt levegőbefúvással vagy vízbepermetezéssel hűtik, a közvetett módszerekben pedig hőcserélőket (rekuperátorokat, melegvíz és gőzkazánokat) alkalmaznak.

Az egyes lehetőségek között a következők ismeretében lehet választani:

* a termelt melegvíz, gőz vagy villamos energia, ill. termoolaj hasznosíthatósága,
* a hulladék fűtőértéke,
* az égetőmű teljesítménye és
* a beruházási, ill. üzemeltetési költségek.

A kis kapacitású, kis hőteljesítményű hulladékégetők esetében alkalmazzák általában a közvetlen füstgázhűtési megoldást. A hideg levegővel végzett füstgázhűtéshez a levegő korlátlan mennyiségben áll rendelkezésre, a szükséges kiegészítő berendezések egyszerűek. Hátránya, hogy igen nagy gázmennyiségeket kell megmozgatni (az 1000 °C-ról 300 °C-ra való hűtés a füstgázvolument 3,5–4-szeresére növeli).

A levegőbefúvás turbulens áramlási körülményei kedvezőtlenek a már kiülepedett porrészecskék újbóli füstgázáramba kerülése miatt is.

A vízbepermetezéses megoldás – amely nagyon hatékony hűtési módszer – hátránya, hogy a vízgőz növeli a füstgáz reakcióképességét. Ezért többnyire korrózióálló védőbevonat felvitele szükséges. Az eljárásban porlasztókkal finom vízködöt permeteznek be a füstgázba. Ha helyes a méretezés, a hűtőkamra padozata száraz marad. A vízbepermetezéssel végzett hűtéskor a füstgázvolumen kb. 1,4–1,6-szorosára nő. Alkalmazható a két módszer kombinációja is. Ekkor a vízbepermetezéses hűtést csupán a nagyobb hőmérséklet tartományban használják. Ez esetben a tűztér végső tartományát használják fel hűtőzónaként és itt végzik a füstgázok vízbepermetezéses lehűtését 500–600 °C-ig. A további hűtés levegővel megy végbe.

A kombinált módszerben a füstgáz mennyisége majdnem kétszeresére nő, a hűtött gáz víztartalma majdnem azonos a tűztérből távozó füstgázéval.

Általános tapasztalat szerint 15–20 GJ/h hőteljesítmény felett célszerű a füstgázok hőtartalmát hasznosítani. A hulladékégetők kazánjai általában természetes vagy kényszeráramlásúak, 3–5 huzamúak. Ritkábban alkalmazzák a kényszerkeringtetésű (pl. La-Mont rendszerű) kazánt, mégpedig általában a tűztér után kapcsolt megoldással

*(5.64. ábra).* Az ipari égetőkhöz használt változatok közül gyakoribb a függőleges huzamú kazán. Az L alakú megoldás akkor előnyösebb, ha igen nagy a füstgáz portartalma. Ekkor a konvektív fűtőfelületeket a vízszintes huzamban helyezik el és így ezek egyszerűbben tisztíthatók.

**5-64. ábra - Tűztérbe épített meredek csöves kazán**

1. bunker; 2. adagolás; 3. rostély és tűztér; 4. salakkihordás; 5. kazán; 6. elektrofilter; 7. füstgázventillátor

A kazán tervezésekor néhány sajátos szempontot kell figyelembe venni. A füstgázok nagy portartalma és a pernye olvadási jellemzői miatt különös gondot kell fordítani a lerakódások csökkentésére. Ezért a szokásosnál nagyobb csőosztásokat kell választani és lehetőleg párhuzamos áramlási viszonyokat kell biztosítani. A többhuzamú kazánmegoldás is ezt segíti elő.

Különösen az ipari égetők szálló porában gyakran kis olvadáspontú és nagy a korróziót okozó alkotórészek koncentrációja.

Ilyenkor kellően nagyra méretezik a besugárzott teret, biztosítva ezzel a füstgáz 650 °C alá hűtését, mielőtt az a konvektív fűtőfelületekkel érintkezésbe kerülne. A pernye ezen a hőmérsékleten a lágyulási pont alá kerül és a fűtőcsövek tisztítása a szokásos eszközökkel megoldható. A hulladékégetők kazánjaiban külön problémát okoz a főleg halogének miatt bekövetkező tűzoldali korrózió. Ennek elkerülésére a korszerű kazánokban nem alkalmaznak 400–450 °C-nál magasabb túlhevítési hőmérsékletet, még turbinás üzemben sem. A harmatponti korrózió elkerülése érdekében szükséges, hogy a hőcserélők ne dolgozzanak 200–220 °C hőmérséklet alatt. A tűztérben elhelyezett sugárzó hőnek kitett fűtőfelületet SIC kifalazással is védik. A füstgázsebesség a sugárzásos huzamban 3–6 m/s, a konvekciós huzamban 6–10 m/s.

A kazán fűtőfelületeinek tisztítására a besugárzott huzamokban a szokásos, pneumatikusan vagy villamosan működtetett kopogtatókat használják. A konvektív fűtőfelületekhez – elsősorban a vízszintes huzamban – a kazán oldalán elhelyezett – automatikusan működő kopogtatókat használják.

A csőköteges fűtőfelületeket a függőleges huzamú kazánok hátsó – „hideg” – részében gőzös vagy sűrített levegős koromlefúvókkal tisztítják. A forró füstgázokat a kazánba való belépésük előtt 450–800 °C-ra kell hűteni, csökkentve ezzel is a pernyerészecskék tapadását és megkönnyítve egyben a biztonságos üzemelést (a hűtés megoldható hideg levegő vagy víz befecskendezésével, ill. füstgáz recirkulációval).

A korszerű hulladékégető kazánok hatásfoka 80–85%. Kondenzációs turbinás üzemben a hatásfok 15–20%. A hő-, ill. gőzleadási teljesítmény ingadozása a kazánok esetében +/– 20%, ami automatizált szabályozással és a hulladék fokozott homogenizálásával mintegy felére csökkenthető. Éppen ez a terület – azaz a hulladékégetés előtti jobb minőségű homogenizálási módszereinek kidolgozása – a hulladékégetők továbbfejlesztésének egyik fő iránya.

Az eddigi eredmények alapján például szilárd hulladékra megfelelő megoldásnak látszik az elkülönített bunkertérbe telepített ún. autogén őrlőmalom (kaszkádmalom) használata.

Az égetés területén a tűzvitel, a hőterhelés egyenletesebbé tétele végett törekednek az automatizált szabályozási rendszer kialakítására. A cél az, hogy a teljes folyamat a vezérlőközpontból csekély kézi beavatkozással irányítható legyen. A tűzvitelt a tűztér falába beépített tv-kamerák és a vezénylőbe telepített monitorok ellenőrzik. A korszerű égetőművekben a gőztermelő folyamat jellemzői közül a tűztérből kilépő füstgázhőmérsékletet választják szabályozott jellemzőnek, vezető jellemzőként figyelembe veszik még a gőztermelést. Beavatkozó jellemző a tüzelőanyag adagolás mennyiségi jele. Szabályozás során változik a feladott hulladék mennyisége és ennek megfelelően állítható be a primer levegő, ill. a szekunder levegő mennyisége. Korrigáló jellemző a füstgázban mért oxigén és szén-monoxid mennyisége, nehogy az égés redukáló tartományban kerüljön. A hőhasznosítás lehetősége és módja a hulladék mennyiségének, jellemzőinek, valamint a helyi hőértékesítési feltételek ismeretében határozható meg. A nagy teljesítményű települési-és iparhulladék égetők felszabaduló hőenergiájának hasznosítására főleg a következő kapcsolási rendszereket használják:

* Fűtőműves változat. A fűtőműves rendszerben kisnyomású gőzt termelnek és a termelt gőzmennyiséget távhőszolgáltatásra vagy ipari gőzszolgáltatásra hasznosítják. Ipari üzemeknek és infrastruktúrális létesítményeknek a hőátadás kiegyenlítettebb éves hőfogyasztást jelent, mint a távfűtés.
* Fűtőerőműves változat. Hasonló az előző megoldáshoz azzal a kiegészítéssel, hogy a hulladékégető műben ellennyomásos erőgép létesül. Az ellennyomásos erőgép létesítésének gazdaságossági feltétele, hogy legalább 8–10 t/h gőztermelés biztosított legyen.
* Kondenzációs erőműves változat. Ebben az esetben a hőhasznosítást kondenzációs turbina létesítésével érik el, tehát a gőzt villamosenergia termelésre hasznosítják. Ez a megoldás biztosítja a legnagyobb mennyiségű villamos energiát, azonban a nagyobb beruházási költségek és a nagy fajlagos gőzfogyasztás miatt ez a változat hőhasznosítás szempontjából nem kedvező.

Tájékoztatásul: 1 t hulladékból max. 350–450 kWh villamos energia termelhető.

* Fűtőerőműves változat elvételes kondenzációs turbinával. Az elvételes kondenzációs turbina lehetőséget ad arra, hogy a hulladékégető mű gőzkiadása a hőfogyasztók változó igényéhez igazítható legyen. Ezt a változatot ott célszerű alkalmazni, ahol viszonylag kisebb a hőfogyasztói körzet és nincs lehetőség hagyományos tüzelésű fűtőművel való kooperációra. Gazdasági szempontból az első két változat részesítendő előnyben. Ezek kapcsolási vázlatát az *5.65. ábra* szemlélteti.

**5-65. ábra - Hulladékégetők hőhasznosítási lehetőségei**

a) fűtőműves változat; b) fűtőerőműves változat 1. égetőmű kazánnal;2. kondenzátor; 3. tápvíz-előkészítés; 4. hőcserélő; 5. távfűtőhálózat; 6. turbina generátorral

A hulladékégető művekben szükségkondenzátorok segítségével megoldható, hogy a hőhasznosító rendszer ideiglenes kiesése (pl. karbantartás) esetén ne kelljen szüneteltetni a hulladék égetését. A szükség kondenzátorokban a kazánok által termelt gőz kondenzálását hűtővízzel vagy léghűtéssel oldják meg. A szükség kondenzátorokat általában a legnagyobb gőzteljesítmény 50%-a körüli értékre méretezik. A szükség kondenzátorok lehetővé teszik a többletgőz visszahűtését is abban az esetben, ha a gőztermelést és a hőfogyasztók igényeit az év folyamán nem sikerül teljesen összehangba hozni.

Az égetőmű energetikai jellemzőinek, a kazánnyomásnak és a gőz hőmérsékletének a kiválasztását lényegében hasonló szempontok szerint végzik, mint más erőművekben. Ebben az esetben azonban figyelembe kell venni a korróziós problémákat, amelyek miatt a gőz hőmérsékletét nem célszerű 400–450 °C-nál nagyobbra növelni. Ezért viszont kisebb gőznyomást kell alkalmazni. Célszerű tehát forró vizet vagy kisnyomású, max. 2–2,5 bar nyomású gőzt termelni. Ez különösen a kisebb teljesítményű ipari hulladékégetőkre érvényes. A korróziós kérdésektől függetlenül természetesen figyelembe kell venni azt, hogy az egység nagyságához (teljesítményéhez) mekkora nyomásérték gazdaságos. Alapelv az, hogy akkora erőművekben, amelyekben már villamosenergia termelés is lehetséges, a nagyobb kazánnyomást kell választani (a gyakorlatban alkalmazott nyomástartomány 4–8 bar.

Nagyobb égetőművekben a nagyobb gőznyomás és a gőzhőmérséklet a gazdaságosabb. Ha fűtőművel kapcsolják össze, az égetőmű kazánnyomása lényegében meghatározott. Minden esetben – az alkalmazandó hőhasznosítási változattól függően – részletes gazdaságossági számításokkal kell eldönteni a rendszer kazán paramétereinek konkrét értékeit.

Különleges esetekben – szennyvíztisztító mű közelében telepített hulladékégetőben – a termelt hőenergia részben vagy teljesen a szennyvíziszap termikus kezelésére hasznosítható. Ilyenkor kétféle megoldást alkalmaznak. Az egyikben a forró füstgázokat közvetlenül az iszapszárító egységbe viszik, ahol az iszap termikus kezelése közvetlen vagy közvetett hőközlés révén megy végbe. A folyamat végén a füstgázt és a szárítóból származó bűzös, páradús gázterméket az égetőmű tűzterébe visszavezetik. Az iszapszárító egység többnyire ellenáramú rendszerű forgódobos szárítókemence vagy ütőcsapos kivitelű forró gázos szárítómalom. A másik megoldásban az égetőmű által termelt gőzt hasznosítják az iszap termikus hőkezelésére, ill. szárítására. A hőkezelést közvetlen gőzbefúvással autoklávokban vagy hőcserélőkben végzik (Dorr-Oliver-Farrer eljárás, Passavant-eljárás, Porteous-eljárás). Ennek célja a víztelenítés megkönnyítése. A gőzzel végzett szárításra a korábban már említett vékonyréteges szárítók használatosak.

**5.10.1.4. Szilárd égési maradékok kezelése**

A szilárd égési maradékok (salak és pernye) anyagi tulajdonságaik miatt környezetet nem károsító módon kizárólag rendezett, ill. rendezett biztonságos lerakókon helyezhetők el. A maradékok mennyisége és összetétele a hulladék jellemzőitől és a tüzelőberendezés üzemmódjától függ. A salak szemcseeloszlása elsősorban a hulladék darabosságától függ, valamint a tüzelőberendezés és a tűzvitel szabályozásának megoldásától is. Erősen változó összetételű, olvadási tartománya 1100–1600 °C. Éghető-anyag-tartalma gyakran eléri a 10–15%-ot is, de többnyire 8% alatt tartható.

Szilikáttartalma 50–70%, kén-, klorid-és fluoridtartalma néhány tized százalék. Bomlóanyag-tartalma nem haladja meg az előírt értéket. Vízoldható sótartalma 0,5–5%, azonban némelyik veszélyes hulladék égetésekor ennél sokkal nagyobb is le-het. A salakolvasztásos égetési eljárásokból kikerülő átolvadt anyagban a vízoldható komponensek vízben oldhatatlan szilikátos kötésbe mennek át és így a salakgranulátum a környezetre nem hat, ezért bárhol lerakható, sőt esetleg építési anyagként is hasznosítható.

A pernye a salak mennyiségének 5–10%-a. Lényegesen szélsőségesebb tulajdonságai vannak, mint a salaknak. Abszorpciós képessége miatt ként, fluoridokat, kloridokat és nehézfémeket (ólom, cink, kadmium, ón stb.) tartalmaz néhány tized százaléktól néhány százalékig. Vízoldhatóanyag-tartalma igen nagy, átlagosan 8–10%, de elérheti akár a 35%-ot is. Szemcsemérete általában 2–120µm. Lerakása a salakénál is különösebb figyelmet követel. A hulladék alkotóelemeinek az égési maradékokban jellemző megoszlási arányait (salak-pernye-füstgáz) az *5.31. táblázat* adatai szemléltetik (települési szilárd hulladék égetése).

**5-31. táblázat - Az egyes hulladékkomponensek jellemző megoszlása a füstgázban, a salakban és a pernyében**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Elemek | Hulladékban (g/kg) | Salakban (%) | Pernyében (%) | Füstgázban (%) |
| Szén | 260 | 1,0 | 0,5 | 98,5 |
| Kén | 5,0 | 35 | 25 | 40 |
| Fluór | 0,2 | 35 | 40 | 25 |
| Klór | 7,0 | 10 | 20 | 70 |
| Vas | 70 | 99 | 1 | – |
| Réz | 0,4 | 90 | 10 | – |
| Cink | 1,0 | 50 | 50 | – |
| Ólom | 0,8 | 60 | 35 | 5 |
| Kadmium | 0,01 | 10 | 80 | 10 |
| Higany | 0,004 | – | 25 | 75 |

A salakot a tűztér végén kialakított nedves rendszerű salakeltávolítóban hűtik le és hordják ki a salakbunkerba vagy átmeneti tárolóba (ez kisebb berendezéseknél lehet zárt konténer is). A salakot levegővel csak kis teljesítményű berendezésekben hűtik, mert ez erőteljesen növeli a hűtés levegőigényét és fokozza a rendszer hőveszteségeit is. A nedves rendszerű salakhűtők megoldásuk szerint lehetnek lengőlapátos, acéllemez hevederes és kaparóláncos kihordók. A salak hűthető átfolyó és elpárologtató üzemmódban. Átfolyórendszerben a készülék túlfolyó hűtővizét az esetek többségében – közbenső salakülepítés után – recirkuláltatják. Az elhasznált hűtővizet a közcsatornába bocsátás előtt ülepítéssel és semlegesítéssel utókezelik. Az átfolyórendszernél az 1 t salakhoz felhasznált vízmennyiség 3,5–6 m3, az elpárologtató rendszernél ezzel szemben csak kb. 0,3–0,4 m3.

Az utóbbi megoldás kivitelezése körülményesebb, azonban ezáltal a salak víztartalma jelentősen csökkenthető. A salakeltávolítóból kikerült salak víztartalma általában 15–25% között változik. A salak térfogattömege 1,5–2,5 t/m3, a száraz pernyéé 0,6–1 t/m3. Az elektrofilterek alatt összegyűlő és a huzamokból származó pernye kezelése attól függ, hogy milyen salakelhelyezési (esetleg hasznosítási) módot választanak.

A salakbunkereknek megfelelő vízelvezetése van, így a salak víztartalma csökkenthető. A salak bunkerben való mozgatására elsősorban csészés markolóval felszerelt híddarukat használnak. Ha nem vonnak ki vasat a salakból, a daru a salakot közvetlenül a szállítójárműre rakja. Ha vasat vonnak ki belőle, akkor a salakot először szállítószalag feletti mágneses szeparátorok alatt vezetik el, amelyek segítségével kinyerik a vas nagy részét. A vas bálázás után értékesíthető.

A vashulladék nagymértékben tartalmaz salakszennyezőt, amelynek mennyiségét bálázás előtt célserű vibrációs rostálással csökkenteni. Kis teljesítményű égetőkben a salakot átmenetileg a szállítóeszközben (pl. konténerben) célszerű tárolni.

A települési hulladékégetők salakját jelenleg egyedül az útépítésben hasznosítják. Ilyen esetben a salakot megfelelő módon elő kell készíteni. Az előkészítés aprításból, mágneses vasleválasztásból és rostálásból áll. Az ilyen salakfeldolgozó alrendszer jelentősen drágítja az üzemet és csak akkor érdemes az égetőműhöz telepíteni, ha a salakfeldolgozó technológia üzemelési költségeit a salak eladási árbevétele fedezi. Az égéstérből visszamaradó salak egyéb anyagtartalmának (nemvas fémek, üveg) visszanyerésére is végeznek kísérleteket, azonban ezeknek az eljárásoknak a fejlesztése még folyamatban van. Hasonló fejlesztési munka folyik a salak káros komponenseinek termikus utókezeléssel történő immobilizálása terén (pl. üvegesítés, zsugorító olvasztás, plazmaolvasztás).

A károsanyagok (PAH, PCDD, PCDF vegyületek, illékony fémvegyületek) zömét tartalmazó, ezért veszélyes hulladékként kezelendő pernye környezetkárosító hatása minimalizálható beágyazással, reduktív közegű termikus-katalitikus lebontással és sa-vas extrakcióval. Ez utóbbi eljárások gyakorlati bevezetés alatt állnak.

**5.10.1.5. Füstgáztisztítás**

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 (menynyisége, minősége) az elégetett hulladék anyagi tulajdonságaitól, az égetőberendezés szerkezeti kialakításától, valamint az üzemeltetési paraméterektől függően változik.

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

A *fontosabb szennyezőkre a következő értéktartománya jellemző:* por 5–15 g/m3, kén-dioxid 1000–3000 mg/m3, hidrogén-klorid 2000–8000 mg/m3, hidrogén-fluorid 20–100 mg/m3, nitrogén-oxid 500–1500 mg/m3, szén-monoxid 500–1000 mg/m3.A füstgázokban található egyéb jelentősebb szennyezők a különböző nehézfémek (főként higany, kadmium, ólom, cink, arzén, bárium, szelén, nikkel, króm és réz), valamint a szerves szénvegyületek (főként policiklusos aromások és dioxin, ill. furánvegyületeik). A nehézfémek oxidok, kloridok alakjában részben a salakban megkötődnek, részben pedig a füstgázokban jelennek meg. Régebben arra törekedtek, hogy ezek a szennyező anyagok – főként a nehézfémek – a salakban koncentrálódjanak. Ma viszont a megfelelő tüzeléstechnikai paraméterek beállításával azt kívánják elérni, hogy az illékony komponensek a füstgázba kerüljenek. Így viszonylag ártalmatlan salak keletkezik, a füstgázt pedig nagy hatékonyságú berendezésekkel a kívánt mértékig meg tudják tisztítani.

A szennyező anyagok elsősorban a szálló pernyében dúsulnak fel. Ennek az az oka, hogy a gőz halmazállapotú szennyezők a füstgázok lehűlése következtében koncentrálódnak a szilárd részecskék felületén. A szálló porra kondenzálódott a nehézfémek zöme, jellemzően 80–90%-a, a 2 µm-nél kisebb porszemcséken található. A pernyére kondenzálódott szennyezők a pernye leválasztásával a füstgázból eltávolítható.

Fémenként változik az, hogy mennyi kötődik meg a salakban, mennyi kondenzálódik a szálló poron és mennyi marad a tisztítandó füstgázban. Például az ólom esetében kb. 60–70% kötődik meg a salakban, kb. 30–35% kondenzálódik a szálló poron és kb. 4–5% jelenik meg aeroszolként a füstgázban; a kadmiumnak csak kb. 10–15%-a ma-rad a salakban, kb. 70–75%-a kondenzálódik a szálló poron és kb. 10–15%-a jelenik meg a füstgázban; a higanynak csaknem teljes mennyisége fémgőzként felszabadul, csupán kb. 20–25%-a kondenzálódik a szálló poron és kb. 70–80%-a aeroszolként kerül a tisztítandó füstgázba. Mindezek figyelembe vételével a tűztérből távozó füstgázok nehézfémtartalma általában néhány tized milligrammtól néhány tíz milligrammig terjed (pl. kadmium 2–10 mg/m3, higany 0,5–20 mg/m3, ólom 10–50 mg/m3, arzén 0,01–0,4 mg/m3, cink 20–150 mg/m3).

A szerves szénvegyületek mennyisége a füstgázban összesen általában 5–25 mg/m3, a szerves anyag kiégetési hatásfokától függ, ami ipari égetőkben jelenleg többnyire 99,99%-os értéken tartható. Nagyon fontos az elégetlen szerves kötésű szén mennyiségének csökkentése a szálló porban, mivel ez a paraméter meghatározható jelentőségű a dioxinok és furánok keletkezése szempontjából. A klórtartalmú vegyületek és a policiklusos aromás vegyületek jelenlétében képződő poliklórozott dibenzdioxinok (PCDD) és poliklórozott dibenzfuránok (PCDF) emissziója igen széles tartományban változik. Átlagosan 300–500 ng/m3 PCDD és PCDF – ez szélsőséges esetben elérheti a 2500–3500 ng/m3 értéket is – keletkezésével lehet számolni a települési hulladékégetők esetében. Ezzel szemben az ipari veszélyeshulladék égetők füstgázaiban található dioxin és furánvegyületek koncentrációja 2–3 nagyságrenddel kisebb (NSZK és USA mérési adatok alapján).

A PCDD-és PCDF-vegyületek keletkezésének oka nem teljesen tisztázott. A tapasztalatok szerint a berendezések szokásos kialakításával és megfelelő üzemeltetésével (pl. 800–1000 °C tűztérhőmérséklet, 8–12% oxigéntartalom a füstgázban, megfelelő tűztér geometria turbulens áramláshoz, redukáló füstgázpászmák elkerülése) az ilyen vegyületek keletkezése minimálisra csökkenthető. Egyre több ismeret halmozódik a dioxin-és furánvegyületek keletkezéséről. Reakciójuk a kazánok kis hőmérsékletű (300–400 °C-os) részeiben szén, szervetlen kloridok és réz(II)-klorid jelenlétében, katalitikus reakcióban, az oxigén és vízgőz koncentrációjától függően megy végbe. Ezek ismeretében keletkezésük mérsékelhető.

A füstgázok portartalma 99%-nál nagyobb hatásfokkal leválasztható száraz vagy nedves elektrofilterek, ill. nagy hatékonyságú szövetszűrők alkalmazásával. A gázállapotú szennyezőanyagok leválasztására leginkább a füstgázmosási eljárásokat használják. A távozó vizes fázis tartalmazza az oldott reakciótermékeket, ezért a mosófolyadékot tisztítani kell (semlegesítés, nehézfém-eltávolítás). Kellő tapasztalat híján még nem beszélhetünk általánosan alkalmazható készülék-és eljárástípusokról. A leggyakrabban használt nedvesleválasztók típusait mutatja be az *5.66. ábra*.

**5-66. ábra - Leggyakoribb nedvesleválasztók típusai**

A füstgáztisztítás berendezéseinek részletesebb ismertetésétől eltekintve a hulladékégetésnél alkalmazott füstgáztisztítási rendszerek áttekintésére szorítkozunk. Gyakorlatilag három komplex füstgáztisztítási rendszert használnak, ezek:

* száraz szorpciós eljárások,
* félszáraz tisztítási eljárások,
* nedves tisztítási eljárások.

A *száraz szorpciós eljárások* képviselik készülékoldalról a legegyszerűbb technológiát, amelyet még a viszonylag kevésbé szigorú emissziós előírásokra dolgoztak ki. Viszonylag alacsony nyersgáz-szennyezettségi értékeknél és kisebb füstgázmennyiségeknél alkalmazható. Az eljárás lényege, hogy a szennyező komponens csökkentésére szolgáló adalékanyagot száraz porként fújják be a reaktorba, a reakció hőmérsék-let-tartománya a víz harmatpont felett helyezkedik el és maradékanyagként száraz por keletkezik (reakciótermékek és pernye keveréke).

Az *5.67. ábra* szemlélteti egy tipikus száraz szorpciós eljárás vázlatát. A technológiai lánc részei a következők:

* elpárologtató hűtő – adalékanyag-befúvás a reaktorba – zsákos porszűrő vagy elektrofilter. Az elpárologtató hűtő vízbeporlasztással csökkenti a füstgázhőmérsékletet és egyidejűleg növeli a füstgáz nedvességtartalmát.

**5-67. ábra - Száraz szorpciós eljárás folyamata**

A csökkentett füstgázhőmérséklet azonban lényegesen az adiabatikus telítési érték felett marad. A kondicionált füstgázba bázikus adalékanyag, általában mészhidrát – Ca/OH2 – finomszemcsés porát fújják be és valamilyen statikus keverővel a füstcsatorna keresztmetszetében finoman eloszlatják. A megfelelő átkeverés következtében a savas kémhatású szennyező komponensek a füstcsatornában reakcióba lépnek az adalékanyaggal. Zsákos porszűrő alkalmazása esetén további kémiai reakciókra ad alkalmat a szűrőszöveten képződő szilárdanyagréteg, melynek pórusain keresztül áramlik a füstgáz.

A savas füstgázkomponensek és a bázikus adalékanyag szemcsék közötti reakciók eredményeképpen szilárd sók keletkeznek. A képződő reakcióterméket a többlet adalékanyaggal együtt mind az elektrofilterekből, mind a zsákos szövetszűrőkből mechanikusan eltávolítják. A szilárd maradékanyagként jelentkező pernye-só-adalékanyag keverék egy részét visszaforgatják, hogy a fel nem használt adalékanyag még reakcióba hozható legyen, nagyobb részét azonban ártalmatlanítani kell. Annak érdekében, hogy a HCl-nél 90–95%-os, az SO2-nél 60–65%-os hatásfokú leválasztást tudjanak elérni, a sztöchiometrikus adalékanyag mennyiség 1,7–2,5-szörösét kell felhasználni.

A *félszáraz füstgáztisztítási eljárásnál* az adalékanyagot folyadékként (mésztej, nátronlúg) juttatják be a füstgázáramba. Az előzőhöz hasonlóan ez az eljárás is a vízharmatpont feletti hőmérsékleti tartományban működik és maradékanyagként száraz por keletkezik. Az eljárás egyik alapváltozatát a *5.68. ábrán* vázoltuk. A permetező rendszerű abszorpciós reaktorban bázikus szuszpenzió befecskendezésével biztosítják a szükséges reakciófelületet. A reaktorban elpárolgó vizes fázis és a savas szennyezőanyag a kristályosodó abszorbenssel reakcióba lépnek. A reakcióterméket alkalmas porleválasztóban választják le.

**5-68. ábra - Félszáraz füstgáztisztítás folyamata**

Előszeretettel használják a zsákos porleválasztókat, mert azokban nemcsak a hatékony leválasztást tudják elérni, hanem alkalmazásuk azzal az előnnyel is jár, hogy a szűrőszövetre rakódott rétegeken az abszorpciós reakciók folytatódnak, ill. befejeződnek. Itt azonban ügyelni kell arra, hogy a hőmérséklet ne csökkenjen a harmatpont alá, mert akkor a szűrő eltömődik. Ezzel szemben az elektrosztatikus leválasztónál a hőmérséklet csökkenthető, aminek következtében a reaktorban az abszorpciós hatásfok növekszik.

Az abszorbens mennyiségét alapvetően a füstgáz hőmérséklete, a megkívánt leválasztási hatásfok és a tisztított gázban elvárt szennyezőanyag koncentrációk határozzák meg. Nagy leválasztási hatásfok nagy abszorbens felesleget igényel. A szöchiometrikus adalékanyag mennyiséghez képest ennek megfelelően a gyakorlatban rendszerint 1,5–2-szeres abszorbens-mennyiségre van szükség.

A reaktorba a füstgáz alternatív módon alulról vagy felülről áramolhat be. Az abszorbens befecskendezése többnyire egyenáramban történik. Az abszorbenst sűrített levegő segítségével, speciális fúvókákon keresztül porlasztják be a füstgázáramba. Abszorbensként általában mésztejet használnak, ami olcsóbb, mint az előbbi száraz szorpciós eljárásoknál alkalmazott mészhidrát. A gyorsan mozgó folyadékrészecskék felületén nagy sebességgel mennek végbe a reakciók. A megszáradt reagens (pl. CaO) egy részét a reaktor alján távolítják el és a leválasztóból származó maradék és pernye keverékkel együtt kezelik, ill. részben recirkuláltatják. A porlasztva szárító reaktorok kialakításánál fontos, hogy:

* a füstgázt megadott áramlási sebességgel kell a reaktorba vezetni és ezt az értéket változó terhelés esetén is tartani kell;
* a gázáramot úgy kell beállítani, hogy a lerakódásokat a reaktor belső falán elkerüljék;
* a jó anyagátadás akkor biztosítható, ha az abszorbensrészecskék és a gáz egymáshoz viszonyított sebessége nagy;
* a porlasztó készülékeket úgy kell kialakítani, hogy a korróziót, az eróziót és a lerakódást megakadályozzák.

Az eljárás eszközigénye valamivel nagyobb, mint a száraz szorpciós technikáé, viszont lényegesen kisebb, mint a nedves eljárásoké. Beruházási költségek a félszáraz eljárásnál kissé magasabbak, mint a száraz módszernél. Hazai körülmények között a nedves füstgáztisztítási eljárások reális alternatíváiként kell figyelembe venni a félszáraz füstgáztisztítási rendszereket.

A *nedves rendszerű füstgáztisztítási eljárásoknál* rendszerint először egy elektrofilterben leválasztják a pernyét, majd az első mosófokozatba való belépéskor a füstgázt harmatpontra hűtik és ezt követően egy-, két-vagy többlépcsős mosással leválasztják a szennyező komponenseket. Általában mésztejet vagy nátronlúgot alkalmaznak abszorbensként és ezeket közel sztöchiometrikus mennyiségben adagolják.

A nedves eljárások két nagy csoportra oszthatók:

* szennyvízkeletkezéssel, ill.
* szennyvízkeletkezés nélkül működő módszerekre.

A létesítmények központi egysége(-i) a mosó(-k), amelyek egyaránt szolgálnak a gáz hűtésére és a szilárd, valamint gáznemű szennyezők leválasztására.

Az egyfokozatú mosókat kezdetben célzottan a savas gázkomponensek (HCl, HF) és higany leválasztására alkalmazták. Ezeknél a technológiáknál a mosófolyadékot meghatározott mennyiségű nyersvíz mellett alacsony pH-értékre állították be és adalékanyagot nem alkalmaztak. Az emissziós előírások szigorodása az SO2-re oda vezetett, hogy a célzott leválasztási hatékonyság növelése szükségessé tette egy második mosási fokozat bevezetését. Ebben a fejlődési fázisban különböző mosótípusokat fejlesztettek ki és alkalmaztak.

Az *5.69. ábrán* kétfokozatú ellenáramú permetező tornyos mosó elvi kialakítása látható, melyet veszélyes hulladékot égetőművekben alkalmaznak, az első mosókörben mésztejes, a másodikban nátronlúgos mosási technikával.

**5-69. ábra - Kétlépcsős füstgázmosás folyamatábrája**

1. kétfokozatú mosóegység cseppleválasztókkal; 2. savas mosókör; 3. lúgos mosókör; 4. nyersgáz; 5. tisztított gáz; 6. friss víz; 7. szennyvíz a savas mosókörből; 8. szennyvíz a lúgos mosókörből (SO2 eltávolítása)

A különböző félszáraz és nedves füstgáztisztítási eljárásokkal a HCl és a HF koncentrációját 96–99%-kal, a kén-dioxid koncentrációját 85–95%-kal lehet csökkenteni. A nehézfém-emisszió nagy hatásfokú porleválasztással, ill. mosással kb. 90–95%-kal redukálható. A szerves szennyezők közül a dioxin és furán vegyületeknél – tekintettel arra, hogy ezek zöme a porhoz kötődik – kb. 99%-os leválasztási hatásfok érhető el, a PAH-vegyületek és a PCB-k leválasztási hatásfoka azonban rendszerint csak 65–95%.

A hatékony por-és gázleválasztási módszerekkel történő dioxin és furán eltávolítás mellett fontosak az olyan üzemelési intézkedések is, mint az elgőzölögtetők folyamatos tisztítása vagy a füstgázhűtés gyorsítása (minél gyorsabban átjussanak a füstgázok a rekombináció kritikus hőmérséklet tartományán).

A legszigorúbb emissziós követelmények teljesítéséhez esetenként – különös tekintettel a dioxin és furán vegyületekre, a Hg-ra és a nitrogén-oxidokra – azonban további tisztítási műveletek beépítése is indokolt lehet. A dioxin és furánvegyületek tisztított füstgázban maradó hányadát a kimutathatósági értékig rendszerint adszorpciós technikával lehet csökkenteni. Adszorbensként ekkor aktívszenet, barnaszénkokszot vagy kohókokszot le-het alkalmazni, fixágyas vagy lebegtetett ágyas adszorbensekben, ill. olyan megoldásban, amikor a porformájú aktívkoksz és mészkeveréket juttatják a füstgázba, majd azt szövetszűrőn leválasztják. A fixágyas adszorbensben az aktívkokszréteg hatékony vastagsága 1,5 m. A tisztított gáz és az aktívszén dioxin/furán – koncentrációja szabályozható az aktívkoksznak a szűrőben való tartózkodási idejével. Az eljárásnál azonban sokrétű biztonságtechnikai probléma vár megoldásra, hogy megakadályozható legyen az adszorber égése, a szénpor berobbanása, ill. a veszélyes szennyező anyagokkal telített porok szabaddá válása.

Gazdasági szempontból legköltségesebbek a nedves füstgáztisztítási eljárások és kisebb, de közel hasonló beruházási költségeket igényelnek a száraz és félszáraz füstgáztisztítási módszerek. Az egyes eljárásokon belül a műszaki kiépítettségtől függően változó beruházási költségek relatív árviszonyait az *5.32. táblázat* illusztrálja.

**5-32. táblázat - Beruházási költségek összehasonlító árarányai füstgáztisztítási eljárásoknál**

|  |  |
| --- | --- |
| Eljárásváltozat | Árfaktor |
| Félszáraz eljárás porlasztva szárító reaktorral és szövetszűrővel | 1,0 |
| Félszáraz eljárás porlasztva szárító reaktorral és elektrofilterrel | 1,2 |
| Egyfokozatú mosás elektrofilterrel | 1,35 |
| Kétfokozatú mosás elektrofilterrel | 1,65 |
| Egyfokozatú mosás elektrofilterrel és porlasztásos elpárologtatással | 1,95 |
| Kétfokozatú mosás elektrofilterrel és porlasztásos elpárologtatással | 2,25 |

Az üzemelési költségek tekintetében rendszerint a száraz és a félszáraz eljárások rendelkeznek kedvezőbb eredményekkel. A célnak megfelelő füstgáztisztítási eljárás kiválasztásakor – helyi körülmények, adottságok igen eltérőek – mindig a teljes rendszert kell vizsgálni, beleértve az elérendő emissziós határértékeket, valamint a maradékok kezelésének, ártalmatlanításának követelményeit is.

**5.10.2. A hőbontás (pirolízis) alkalmazása**

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

* A hőbontás során a szerves hulladékból
* pirolízisgáz
* folyékony termék (olaj, kátrány, szerves savakat tartalmazó bomlási víz)
* szilárd végtermék (piroliziskoksz) keletkeznek.

Ezek összetétele, aránya és mennyisége a kezelt hulladék összetételétől, a reaktor üzemi viszonyaitól és szerkezeti megoldásától függ. A végtermék elsősorban energiahordozóként (fűtőgáz, tüzelőolaj, koksz), ritkábban vegyipari másodnyersanyagként (pl. a gázterméket szintézisgázzá konvertálva metanol előállításához) és esetenként egyéb célokra (talajjavítás szilárd, szénben dús maradékkal; fakonzerválás vizes maradékkal; granulált salakolvadék építőipari adalékanyagként stb.) hasznosítható.

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

A reaktorok a fűtési mód szerint lehetnek:

* közvetett (reaktorfalon keresztül, ill. cirkulációs közeg segítségével) és
* közvetlen fűtési megoldásúak.

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

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

A hulladék hőbontására négyféle reaktortípus használatos:

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

A szilárd maradékok a vízfürdős leválasztást követően különbözőképpen dolgozhatók fel (szervetlen maradékok elkülönítése után aktívszén előállítása, közvetlen elégetése stb.).

A gáz-és gőzállapotú termékek leválasztására és tisztítására a legkülönfélébb gáztisztítási és gáz-gőz szétválasztási módszereket és kombinációikat (pl. ciklonokat, elektrofiltereket, gázmosókat, utóégető kamrákat, krakkoló reaktorokat) alkalmazzák. A hőbontás legnagyobb előnye az, hogy termékei értékesíthető alifás és aromás szénhidrogének, továbbá légszennyező hatása jelentősen kisebb,mint a hulladékégetésé. Hátránya ugyanakkor a fokozott anyag-előkészítési igény, valamint az, hogy főként a kisebb hőmérsékletű eljárásokban a gáztisztítás összetettebb és komplikáltabb, valamint az ennek során keletkező, többnyire erősen szennyezett mosóvizet is komplex módon tisztítani kell.

Hátrányos továbbá, hogy az égetéshez képest nagyobb a lehetősége a nehezen bomló, nem tökéletes égéstermékek képződésének. A hőbontási eljárások fejlesztése folyamatban van. A költségek az égetéshez hasonlóak, esetenként az üzemeltetési költségek a végtermékek kedvező értékesítése következtében fedezhetők is.

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

A települési és az egészségügyi veszélyes hulladék kezelésben az „áttörést”

* a reduktiv és oxidatív eljárás soros összekapcsolása,
* a pirolízis menetét (oxigénadagolást) befolyásoló folyamatirányítási rendszerek kifejlesztése és alkalmazása jelentette napjainkra.

A szabályozott termikus oxidáción alapuló pirolízis technológia lényege, hogy

* az első kamrában oxigénmentes körülmények között. a szilárd hulladékot alkotó szénvegyületek gázfázisúvá alakulnak át,
* a második kamrában (az ún. utóégetőben) a gáz levegővel turbulens áramlással keveredik, ez által magasabb hőmérsékletet elérve, biztosítjuk a lehetséges veszélyes anyagok teljes ártalmatlanítását,
* a termikus folyamat különböző paramétereit betápláljuk egy számítógépes folyamatirányítóba, mely képes az ártalmatlanítás korrekcióját adott időközön belül megoldani.

A fenti elvet a gyakorlatban megvalósító ECO-WASTE rendszer felépítését az *5.70. ábra* szemléleti. A jelenlegi adatok alapján 1 t háztartási hulladék pirolízise során 100–120 kWh energia visszanyerésével lehet számolni.

**5-70. ábra - Az ECO-WASTE SOLUTION pirolízisrendszer elvi technológája**

1. hulladék adagoló; 2. biolízis kamra; 3. gázelvezető összekötő; 4. utóégető kamra; 5. submatikus szabályozó rendszer; 6. ipari vákuum rendszer; 7. füstgáztisztító; 8. energia visszanyerő; 9. kémény

A pirolízis-technika előzőkben ismertetett előnye, a tökéletesebb lebontás és a füstgáztisztító hatékony működése következtében ma már a berendezések a legszigorúbb EPA, EU illetve hazai levegőtisztaság-védelmi előírásoknak is megfelelnek.

Az eljárás végterméke a salak, hamu már nem tartalmaz toxikus kioldható anyagokat, igy külföldön ez az anyag minden megkötöttség nélkül lerakható ( akár települési hulladékkal együtt.) Hazai alkalmazás esetén minősítő vizsgálatok szükségesek, de III. osztályú minősítés esetén pl. takaróföldként szintén elhelyezhető.

Összességében az ECO-WASTE szabályozott termikus oxidáció (pirolízis) anyagmérlege kedvezőnek mondható,

* rendkívül lecsökkentve a továbbkezelendő anyagmennyiséget,
* a környezetvédelmi határértékek betartása és
* energiahasznosítás mellett.

Az ismertetett elven működő pirolízis berendezések ma már elterjedten alkalmazottak külföldön kistérségi, helyi települési és egészségügyi hulladékkezelési feladatok megoldására.

A technológia környezetvédelmi előnyei mellett a továbbiak is jelentkeznek:

* az egyes berendezések modul rendszerben összekapcsolhatók, tág kapacitástartomány elérése mellett,
* a technológia szakaszosságából jelentkező hátrány több kamra párhuzamos – soros működésével kiküszöbölhető,
* a berendezések alkalmazása lehetővé teszi a komplex hulladékgazdálkodást, előzetes válogatás csatlakoztatásával

A hőbontási eljárások különleges típusát képviselik az elgázosítási módszerek, melyeknél a szerves anyagok hőbontása min. 850–950 °C hőmérsékleten (max. 1600–1700 °C hőmérséklethatárig), segédanyagok – levegő, oxigén, vízgőz – segítségével megy végbe, a lehető legnagyobb gázkihozatal érdekében. Az elgázosításhoz szükséges energiát a szerves anyagok parciális égetése biztosítja. A gáztermék döntően hidrogént és szén-monoxidot tartalmaz, fűtőértéke jelentősen az alacsonyhőmérsékletű pirolízisgáz fűtőértéke alatt marad (levegővel történő elgázosításkor átlagosan 5000 kJ/m3, oxigénnel történő elgázosításkor átlagosan 10000 kJ/m3).

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

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

* kisebb, tisztítandó gázmennyiségek,
* a nagymolekulájú szénhidrogének, főként az ártalmas klórtartalmú vegyületek nagyhőmérsékletű lebontása a dioxinok és furánok redukáló atmoszférával gátolt képződésével,
* üvegszerű salakgranulátum előállításával (nehézfémek megkötésével) a szilárd maradékok másodlagos környezetszennyező hatásának minimalizálása, egyúttal könnyebben hasznosítható végtermék kinyerése (hasonlóan a salak-olvasztásos égetéshez),
* a tiszta gáztermék előállítása, amely sokoldalúan (energianyerés, szintézisgáz) hasznosítható.

A jónéhány eredményes fejlesztési eljárásból itt csak az üzemi megvalósítás alatt álló négy legjellemzőbb technológia rövid ismertetésére szorítkozunk. (Siemens-eljá-rás, Lurgi-eljárás, Noell-eljárás, Thermoselect-eljárás).

Az eljárások gyakorlatilag többfokozatú termikus hulladékkezelést valósítanak meg, így biztosítani tudják az egyes részfolyamatok jobb szabályozhatóságát és az előzetes és köztes válogatással az inertanyagok mennyiségének csökkentését. A Siemens és a Lurgi-eljárásoknál a gázfázis tökéletes kiégetése a berendezésben megy végbe, míg a másik kettő olyan gázt állít elő, amely a tulajdonképpeni hulladékkezelő berendezésen kívül is elégethető.

A Siemens által kifejlesztett Schwel-Brenn-eljárás *(5.71. ábra)* a pirolízis és az azt követő nagyhőmérsékletű égetés kombinációja. A 150–200 mm-re aprított szilárd települési és ipari hulladékot közvetett fűtésű forgó dombkemencében 450–500 °C hőmérsékleten pirolizálják, majd az így előállított pirolízisgázokat további kezelés nélkül közvetlenül a nagyhőmérsékletű – kb. 1300 °C-on dolgozó – égetőkamrába vezetik. A szilárd pirolízismaradékot rostálják, a fémeket leválasztják. A tapasztalat szerint az 5 mm-nél kisebb részek gyakorlatilag az egész izzítási kokszot tartalmazzák. Ezt megőrlik és szintén a nagyhőmérsékletű égetőkamrába vezetik. Itt égetik el a véggáztisztításból származó szálló port és elhasznált adszorbenst is.

**5-71. ábra - A Siemens-eljárás egyszerűsített sémája**

A hőhasznosítást követően (gőz-, ill. áramtermelés) a füstgázt a hulladékégetőkhöz hasonló komplex rendszerben tisztítják. A salakolvadékot vízfürdős hűtést követően tárolják ki. Nagy előnye a hagyományos égetéssel szemben, hogy a gáz és a finomra őrölt pirolíziskoksz elégetése az égetőkamrában alacsony (20–30%) légfelesleggel történik.

A Lurgi-eljárás (WIKONEX) az előzőtől főként az elülső, termikus feltáró egységben különbözik *(5.72. ábra),* ahol cirkuláló fluidágyas kemencét alkalmaznak. A pirolízishez szükséges energiát a gáz és a pirolíziskoksz részleges elégetésével biztosítják, a fluidágy tehát önálló elgázosítóként működik. A keringtetett fluidizáló közeget olyan fűtőágy felett vezetik, amelyben a hőhasznosító kazánban előállított gőzt túlhevítik (hatásfoknövelés). A fűtőágyat az égetési levegővel fluidizálják és így az égetés véggáza nem okoz klórkorróziót. A gáz-és szilárd szén kiégetése, valamint a véggáz tisztítása az előző eljáráshoz hasonló.

**5-72. ábra - A Lurgi-eljárás egyszerűsített sémája**

A Noell-féle konverziós eljárásban *(5.73. ábra)* a szilárd hulladék termikus feltárása közvetetten fűtött forgódobos reaktorban, aprítás után, 450–550 °C-on történik. A pirolízis kokszot szárazon hűtik, a fémtartalmát leválasztják, majd őrlést követően az áramlásos rendszerű elgázosító reaktorba vezetik. A pirolízisgázokat gyorshűtéssel hűtik, a kondenzálható szénhidrogéneket leválasztják és szintén a reaktorba vezetik. A pirolízis összes maradékanyaga elgázosításra kerül.

**5-73. ábra - A Noell-eljárás egyszerűsített sémája**

Az áramlásos gázosítóban oxigén felhasználásával parciális oxidáció megy végbe, salakolvasztási hőmérsékleten, 2–35 bar túlnyomás mellett. A véggázt hűtik, tisztítják. A hűtővízzel előtisztított gáz alacsony hőmérsékletű gőzhasznosítás mellett hűl le és a gáztisztító berendezésben szabadul meg a kéntartalmától, a kinyert elemi kén értékesíthető. A szilárd olvadék vízfürdőben kerül lehűtésre és további hasznosításra. A gáztisztító szennyvize a nyersgáz szennyezéseinek nagy részét tartalmazza, ezért az oldott gázoktól és szilárd részektől elválasztják, elgőzölik. A további gázhűtésből származó vizes kondenzátumot a gázmosóban újra felhasználják. A gáztisztításból különböző célra hasznosítható tisztított gázt nyernek.

A Thermoselect-eljárás *(5.74. ábra)* technológiai lépései a hulladék tömörítése, pirolízis (gáztalanítás), elgázosítás és nagyhőmérsékletű égetés. Alapvetően szilárd települési és ipari hulladékok kezelésére dolgozták ki. A települési hulladék előkezelés (aprítás) nélkül feldolgozható a berendezésben. A hulladék heterogén összetétele miatt a kezelés első lépése a hulladék tömörítése. Ezt követi a levegő kizárása és állandó nyomás mellett, közvetetten fűtött pirolizáló csatornában a kigázosítás vagy pirolízis 500–600 °C hőmérsékleten, majd folyamatosan az elgázosítás tiszta oxigénnal 1200 °C hőmérséklet feletti tartományban. A megolvadt szervetlen alkotórészek homogenizálva, stabil vegyületekben kötődnek meg, amelynek további hasznosítása kedvező (építési és kohászati alapanyag). A nagyhőmérsékletű elgázosítás során valamennyi szerves anyag elbomlik, a képződő szintézisgáz lényegében hidrogénből, szén-monoxidból és vízgőzből tevődik össze, kismennyiségű szilárd és gáznemű szennyező tartalommal. A gáz tisztítása a szokásos módon, több fokozatban történik.

**5-74. ábra - A Thermoselect-eljárás egyszerűsített sémája**

Az első lépés egy gyorshűtés (dioxin és furán vegyületek rekombinációjának megakadályozása), majd a kismennyiségű szilárd szennyezést leválasztják és a termikus folyamatba visszavezetik. A gázalakú szennyezőket mosással távolítják el, a kén-hid-rogén eltávolítás speciális folyamatban történik, elemi kén leválasztásával.

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

A tisztított gáz korlátlanul hasznosítható saját felhasználásra (pirolizáló csatorna fűtése, elgázosító reaktorba) vagy külső gőz, elektromos energia előállítására. Az a tény, hogy nem a füstgázból származó latens hőt, hanem kémiailag kötött energiát használnak fel, lehetővé teszi a magas hatásfokú energiahasznosítást.

A fenti eljárások nagyüzemi alkalmazásra érettek. A Siemens-eljárással 100 ezer t/év kapacitású létesítmény épül Fürth-ben, a Lurgi-eljárással 100 ezer t/év kapacitású létesítmény Flensburg-ban, a Noell-eljárással 100 ezer t/év kapacitású létesítmény Northheim-ben, míg a Thermoselect-eljárással 108 ezer t/év kapacitással Ausbach-ban és 225 ezer t/év kapacitással Karlsruhe-ban kerül megvalósításra.

A röviden ismertetett legújabb elgázosítási eljárások az égetés és a hőbontás előnyeit kombinálva, a másodlagos környezetszennyező hatásokat minimalizálva, a korszerű hulladékégetőkhöz hasonló beruházási és üzemeltetési költségekkel a jövő alternatív eljárásainak tekinthetők a szilárd hulladékok termikus kezelésében a már kiforrott égetéses technológiával szemben.

* [table of contents](file:///C%3A%5CHonlap%5C%C3%9Aj%5CSzakter%C3%BCletek%5CHullad%C3%A9k%5CHulladek_termikus.htm)
* [data sheet](file:///C%3A%5CHonlap%5C%C3%9Aj%5CSzakter%C3%BCletek%5CHullad%C3%A9k%5CHulladek_termikus.htm)

[Környezettechnika](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cindex.html)

[Előszó](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch01.html)

[1. A környezettechnika globális összefüggései](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch02.html)

[1.1. A fenntarthatófejlődés, mint a környezetvédelmi szabályozás alapelve](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch02.html)

[1.1.2. A fenntartható fejlődés általános alapelvei, jogok és felelősségek](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch02s02.html)

[1.2.Gazdálkodásazenergiaforrásokkal](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch02s03.html)

[1.3. A megújuló energiaforrásokról általában](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch02s04.html)

[1.4. A napenergia hasznosítása](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch02s05.html)

[1.5. A biomassza energetikai hasznosítása](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch02s06.html)

[1.6. Szélenergia](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch02s07.html)

[1.7. Vízenergia](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch02s08.html)

[1.8. Geotermikus energia](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch02s09.html)

[2. A levegőszennyeződés csökkentése](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch03.html)

[2.1. A levegőszennyezettség hatásai](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch03.html)

[2.2. A szennyeződés forrásai, szennyező anyagok](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch03s02.html)

[2.3. A levegő szennyezésének szabályozása](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch03s03.html)

[2.4. A légszennyező anyagok leválasztása](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch03s04.html)

[2.5. Belső égésű motorok levegőszennyező hatása és csökkentésének lehetősége](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch03s05.html)

[2.6. Szag és csökkentése](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch03s06.html)

[2.7. A levegőminőség mérése](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch03s07.html)

[2.8. Az emisszió meghatározása](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch03s08.html)

[2.9 A levegőminőséggel kapcsolatos hazai szabványok jegyzéke](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch03s09.html)

[3. A vízszennyezés csökkentése](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch04.html)

[3.1. A szennyezés hatása, a vízi ökoszisztéma jellegzetességei](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch04.html)

[3.2. A szennyezés során a környezetbe jutó anyagok és fontosabb jellemzőik](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch04s02.html)

[3.3. A szennyezés szabályozása](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch04s03.html)

[3.4. A szennyezés csökkentésének technológiai lehetőségei](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch04s04.html)

[3.5. Szennyvíztisztítási technológiák](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch04s05.html)

[3.6. A szennyezés mérése](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch04s06.html)

[3.7. A szennyvíziszap kezelése](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch04s07.html)

[3.8. Szabványok](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch04s08.html)

[4. A talajszennyezés csökkentése tisztítástechnológiai módszerekkel (kárelhárítás)](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch05.html)

[4.1. A talaj](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch05.html)

[4.2. A szennyező anyagok](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch05s02.html)

[4.3. Kőolaj és származékai](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch05s03.html)

[4.4. Olajkár elhárítás a talajban](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch05s04.html)

[4.5. Technológiai változatok](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch05s05.html)

[4.6. Néhány példa a technológiai rendszerekre](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch05s06.html)

[5. A hulladékok kezelése](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch06.html)

[5.1. A hulladékprobléma kialakulása, a hulladékgazdálkodás alapjai](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch06.html)

[5.2. A hulladékok fogalma, csoportosítása, mennyiség, minőség](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch06s02.html)

[5.3. A hulladékok minőségének, összetételének vizsgálata](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch06s03.html)

[5.4. A hulladékok csökkentése](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch06s04.html)

[5.5. A hulladékok hasznosítása](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch06s05.html)

[5.6. A hulladékkezelés technológiai rendszere](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch06s06.html)

[5.7. A hulladékok gyűjtése, átmeneti tárolása](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch06s07.html)

[5.8. A hulladékok szállítása, eszközök, berendezések](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch06s08.html)

[5.9. A hulladékok előkezelése, a főbb eljárások, berendezések](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch06s09.html)

[5.10. A hulladékkezelés termikus eljárásai](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch06s10.html)

[5.11. A hulladékok ártalmatlanításának biológiai módszerei](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch06s11.html)

[5.12. A hulladékok elhelyezése](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch06s12.html)

[5.13. A hulladékkezelési eljárások műszaki-gazdasági összehasonlítása](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch06s13.html)

[5.14. Műszaki szabályozás és jogszabályok](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch06s14.html)

[6. A zaj-és rezgésvédelem](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch07.html)

[6.1. A zaj környezeti hatásai](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch07.html)

[6.2. Alapfogalmak](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch07s02.html)

[6.3. Hangterjedés](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch07s03.html)

[6.4. Zajmérés és értékelés](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch07s04.html)

[6.5. Környezeti zajforrások, zajcsökkentés](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch07s05.html)

[6.6. Az építésügy, a területrendezés és településüzemeltetés és az úttervezés zajvédelmi feladatai](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch07s06.html)

[6.7. Jogszabályok a zaj-és rezgésvédelemről](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch07s07.html)

[7. A radioaktivitás a környezetben](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch08.html)

[7.1. A radioaktivitással kapcsolatos alapfogalmak](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch08.html)

[7.2. Radioaktív anyagok előfordulása a környezetben](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch08s02.html)

[7.3. A radioaktivitás káros hatásai az emberi szervezetre](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch08s03.html)

[7.4. A radioaktivitás mérése (sugárvédelmi méréstechnika)](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch08s04.html)

[7.5. A radioaktivitás alkalmazása](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch08s05.html)

[8. Környezetvédelem a vállalati gyakorlatban](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch09.html)

[8.1. A vállalatok és a globális környezeti kihívás](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch09.html)

[8.2. Az üzleti világ reagálása a környezeti kihívásra](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch09s02.html)

[8.3. A kívánatosnak tekinthető vállalati környezeti menedzsment rendszer](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch09s03.html)

[8.4. A vállalkozások környezeti kockázatának endogén és exogén összetevői](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch09s04.html)

[8.5. A vállalatok környezetvédelmi szervezete](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch09s05.html)

[8.6. A környezeti menedzsment szabványosítása, nemzetközi szabványosítási törekvések](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch09s06.html)

[9. Környezeti hatásvizsgálatok](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch10.html)

[9.1. A környezeti hatásvizsgálatoknál alkalmazott legfontosabb fogalmak](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch10.html)

[9.2. A környezeti hatásvizsgálatok helye és sajátosságai a környezettel kapcsolatos vizsgálatok rendszerében](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch10s02.html)

[9.3. A környezeti hatásvizsgálat hazai szabályozása](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch10s03.html)

[9.4. A környezeti hatásvizsgálat végrehajtásának lépései](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch10s04.html)

[9.5. Környezeti hatásvizsgálati módszerek](file:///%5C%5Cen%5Ctartalom%5Ctkt%5Ckornyezettechnika-eloszo%5Cch10s05.html)