

Egészségügyi hulladékok ártalmatlanítására szolgáló nem égetéses technológiák Európában

Útmutató kórházigazgatók, létesítményvezetők, egészségügyi szakemberek, környezetvédelmi ügyvédek és a lakosság számára

2004 június

Health Care Without Harm Europe
(Egészségügy Ártalmak Nélkül, Európa)
Chlumova 17
130 00 Prága, Cseh Köztársaság
tel./fax: +420 222 782 808, 222 781 471
www.noharm.org
europa@hcwh.org

Egészségügyi hulladékok ártalmatlanítására szolgáló nem égetéses technológiák Európában

2004 június

Ez az útmutató az Egészségügy Ártalmak Nélkül (Health Care Without Harm) által 2001 augusztusában kiadott „Egészségügyi hulladékok ártalmatlanítására szolgáló nem égetéses technológiák Európában: útmutató kórházigazgatók, létesítményvezetők, egészségügyi szakemberek, környezetvédelmi ügyvédek és a lakosság számára” című jelentés alapján készült. Míg a hulladék minimalizálásával és a hulladék kategóriákkal foglalkozó fejezeteket lerövidítettük, nagyobb teret szenteltünk az Európában használatos technológiák bemutatásának.

A végleges változat szerzői Dr. Jorge Emmanuel, Egészségügy Ártalmak Nélkül (Health Care Without Harm: HCWH), USA; Dr. Čestmír Hrdinka, HCWH, Cseh Köztársaság és Paweł Głuszyński, Hulladék Megelőzési Szövetség, Lengyelország; közreműködők: Ralph Ryder, Közösségek a Mérgek Ellen, Egyesült Királyság; Michael McKeon, Ír Orvosok a Környezetért, Írország; Rui Berkemaier, Quercus, Portugália és Aurélie Gauthier, (Független Nemzeti Hulladékinformációs Központ (CNID), Franciaország.

Health Care Without Harm Europe (Egészségügy Ártalmak Nélkül, Európa)
Chlumova 17
130 00 Prága 3, Cseh Köztársaság
Tel.: +420 222 782 808
Fax: +420 222 781 471
europe@hcwh.org
www.noharm.org

Előszó

Mostanáig az égetés volt a veszélyes egészségügyi hulladékok ártalmatlanításának csaknem kizárólagos módja. Az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatalának (Environmental Protection Agency: EPA) a 2,3,7,8-tetraklorodibenzo-para-dioxinra és rokon vegyületeire vonatkozó újraértékelése szerint az egészségügyi hulladékok égetése bizonyult a legnagyobb dioxin kibocsátó légszennyezési forrásnak az Amerikai Egyesült Államokban. Az EPA 1997-ben új szabályozást vezetett be a már létező és az új égetőművekre, melyben új kibocsátási határértékeket állapítottak meg. A meglévő égetőműveket további légszennyezést csökkentő berendezésekkel kellett felszerelni, hogy az új törvényi előírásoknak eleget tehessenek. Mivel azonban a kórházak és az egyéb, egészségügyi hulladékégetőket üzemeltetők döntő többsége számára nagyon magas költségekkel járt volna a hatékony filterekbe való beruházás, végeredményben több mint 5000 egészségügyi hulladékégetőt zártak be.

Az Európai Unióban az egészségügyi hulladékégetőkre vonatkozóan 2000-ben vezettek be szigorúbb kibocsátási határértékeket. Ennek eredményeként számos égetőt bezártak és megnőtt a fertőző egészségügyi hulladékokat nem égetéssel ártalmatlanító létesítmények száma. Azonban az alternatív ártalmatlanítási módszerek bevezetésének üteme jóval lassabb, mint az USA-ban és Európában továbbra is az égetés maradt a legelterjedtebb módszer az egészségügyi hulladékok ártalmatlanítására.

Noha az égetést még manapság is széles körben alkalmazzák, az égetést mellőző technológiák is növekvő támogatást nyernek Európában. Szlovéniában a kilencvenes évektől az összes fertőző hulladékot gőzsterilizációra alapuló rendszerrel ártalmatlanítják. Portugáliában csaknem az összes egészségügyi hulladékégetőt bezárták és az egészségügyi hulladékot autoklávokban ártalmatlanítják. Franciaországban az elmúlt 10 évben az egészségügyi hulladékok ártalmatlanítására több mint 50 üzemeltető vezetett be aprításon/gőzölésen/száritáson alapuló rendszereket. Az Írországi Egyesült Hulladékkezelési Testület 2003-ban arról döntött, hogy az egészségügyi hulladékok döntő hányadát autoklávokban, forró gőz-kezeléssel ártalmatlanítsák.

Nemrégiben 10 új belépő ország csatlakozott az Európai Unióhoz. Ezen országokban az égetőművek többsége régi és nem teljesíti az égetők emissziójára megállapított uniós határértékeket. Példaként a Cseh Köztársaságban és Lengyelországban az egészségügyi hulladékégetők túlnyomó többségének dioxin emissziója meghaladta a $0,1 \text{ ng/m}^3$ TEQ (toxicitás egyenérték) határértéket.

Az új tagállamok a jövőben kétféle módon teljesíthetik az előírt határértékeket – vagy nagyon drága szűrőberendezésekkel szerelik fel az égetőműveket vagy bezárják azokat és bevezetik az alternatív, égetést mellőző technológiákat. Az utóbbiak környezetkímélőbbek és rendszerint olcsóbbak az égetőknél. A nem égetéses technológiákban (az égetőművekkel ellentétben) nem termelődnek mérgező dioxinok, bevezetésük ezért összhangban áll a 2004 májusában életbe lépett, a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyezőanyagokra (Persistent Organic Pollutants: POP-ok) vonatkozó Stockholmi Egyezményel.

Tudományos körökben széleskörűen elfogadott tény, hogy a hulladékégetés a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyezőanyagok, köztük dioxinok képződésével jár, így hozzájárul a globális POP emisszióhoz. Új légszennyezés csökkentő berendezések felszerelésével a dioxinok emissziója a füstgázban ugyan csökkenthető lenne, de ez általában együtt jár a pernye dioxin-koncentrációjának megnövekedésével. Minthogy a Stockholmi Egyezmény a levegő, a víz illetve a föld szennyezésére is kiterjed, az égetők jövőbeli preferálása ellenkezik ezen egyezmény elsődleges céljával, a POP-ok szintjének csökkentésével.

Az egészségügyi hulladékok égetésével okozott szennyezést az Egészségügyi Világszervezet (World Health Organisation: WHO) is problémának tekinti. Az „Egészségügyi hulladékok ártalmatlanítása” című, 2004 májusában kiadott irányelvében a WHO leszögezi, hogy „az egészségügyi hulladékok végső ártalmatlanítása során egyfelől a kockázatos egészségügyi hulladékkezelésből, másrészt a dioxinoknak és furánoknak való kitettségéből eredő egészségügyi kockázatok elkerülése érdekében a nem égetéssel technológiák hatékony, tömeges előnyben részesítését kell hosszú távú célként tekinteni”.

Az Egészségügy Ártalmak Nélkül reméli, hogy Európa összes országában az egészségügyi hulladékok kezelésében a nem égetéssel technológiák kifejlesztését fogják támogatni a korszerűtlen égetőművek rekonstrukciója és tisztítóberendezésekkel való felszerelése illetve új égetőművek építése helyett.

Vezetői összefoglaló

A környezetben tartósan megmaradó szerves szennyezőanyagok (POP-ok) kiküszöbölésére vonatkozó nemzetközi Stockholmi Egyezmény az egészségügyi hulladékégetőket a fő környezeti dioxin források között sorolja fel. Az egészségügyi hulladékégetők a dioxinok és furánok mellett azonban még számos különféle szennyezőanyagot is kibocsátanak. Így a levegőben megjelenő nehézfémeket (ólmot, higanyt és kadmiumot), finomszemcsés port, hidrogén-kloridot, kén-dioxidot, szén-monoxidot, nitrogén oxidokat és egyéb szennyezőanyagokat, amilyenek például a tökéletlen égéstermékek (Products of Incomplete Combustion: PIP-k). Az égetőkben erősen szennyezett hamu is képződik, ami potenciálisan veszélyezteti az emberi egészséget. Tudományosan elismert tény, hogy ezek a szennyezőanyagok súlyos egészségkárosító hatást gyakorolhatnak az égetők személyzetére illetve a népességre, továbbá károsíthatják a környezetet.

A nem égetéses technológiák előnyeinek maximális kiaknázása érdekében egy olyan alapkoncepciót mutatunk be, melynek alapelemei a hulladékmennyiség minimalizálása és a hulladékok elkülönítése. Egy a hulladékforrások csökkentését, az elkülönítést, az újrafelhasználást, és egyéb szennyezés megelőző technikákat magában foglaló program bevezetésével az egészségügyi szolgáltatók csökkenthetik az ártalmatlanítást igénylő fertőző hulladékok mennyiségét.

A hulladék elemzése bármely nem égetéses technológia kiválasztásának fontos lépése. Az elterjedt közvélekedéssel ellentétben **a fertőző egészségügyi hulladékok megközelítőleg a teljes hulladékhalmaz legfeljebb 15 százalékát teszik ki.** A fertőző hulladékból származó reális veszélyekre alapozott hatékony hulladék szétválasztási és osztályozási rendszerek bevezetésével sok esetben ez a mennyiség 3-5 százalékra csökkenthető.

Az egészségügyi hulladékok az emberek és állatok diagnózisa, kezelése és immunizálása során keletkező hulladékként definiálhatók. A teljes hulladékhalmazt célszerű az alábbi négy kategóriába besorolni: települési szilárd hulladék, fertőző hulladék, veszélyes hulladék és alacsony aktivitású radioaktív hulladék. A hulladék kategóriákat az Európai Hulladék Katalógus jelöli meg és azok az egyes nemzeti jogalkotási folyamatokban tovább definiálhatók. Habár a fertőző hulladékok az egészségügyi intézmények által termelt teljes hulladékmennyiségnek csak kis részét alkotják, az egészségügyi intézmény által hulladék elhelyezésre fordítandó kiadások jelentős részét kell ezek ártalmatlanítására költeni.

Az egészségügyi hulladékok alternatív kezelésében négyféle eljárás: termikus, vegyi, besugárzásos és biológiai folyamatok alkalmazhatók. A termikus eljárásokban a patogéneket (betegségeket okozó mikroorganizmusokat) hőkezeléssel pusztítják el. Az alacsony hőmérsékletű termikus eljárásokban nedves hőt (rendszerint gőzt) vagy száraz hőt alkalmaznak. A vegyi eljárásokban a patogének elpusztítására fertőtlenítőszerket vagy a hulladékkal reakcióba lépő vegyszereket alkalmaznak. A besugárzás során ionizáló sugárzással pusztítják el a mikroorganizmusokat, míg a biológiai eljárásokban enzimekkel bontatják le a szerves anyagokat. A mechanikus eljárásokat, például aprítókat, keverőkarokat, vagy tömörítőket kiegészítő technológiaként használják, hogy a hulladékot felismerhetetlenné ronszolják, javítsák a hőátadást vagy csökkentsék a kezelt hulladék térfogatát.

Ezen eljárások mindegyikéről áttekintést adunk, a működési elvvel együtt ismertetjük a kezelt hulladéktípusra, az emissziókra, a maradó (reziduális) hulladéokra vonatkozó információkat, a mikroorganizmusok inaktiválásának hatásfokát, az előnyöket, hátrányokat és az egyéb kérdéseket. Az Európában működtetett technológiákra egyedi példákat mutatunk be. A technológiai leírások a forgalmazó adataira, független értékelésekre és ahol ilyenek rendelkezésre állnak, egyéb, a tulajdonostól független forrásokra alapulnak. Minthogy egy dinamikus piacon a technológiák

gyorsan változnak, bármely technológia kiértékelése során tanácsos, hogy a nem égetéses módszerek iránt érdeklődő intézmények a legfrissebb és legpontosabb adatok beszerzése végett felvegyék a kapcsolatot a forgalmazókkal.

Az Egészségügy Ártalmak Nélkül egyetlen technológiát, vállalatot vagy márkanévet sem reklámoz, és nem állítja, hogy a technológiák felsorolása e kiadványban teljes körű.

A kórházakban bevett folyamatnak számító gőzsterilizálást autoklávokban és retortákban végzik. Egy példaként említhető autokláv típus a Tuttnauer. A legújabb típusoknál az alap autokláv rendszer beépített vákuummal, folyamatos betöltéssel, aprítással, keveréssel, fragmentálással, szárítással, vegyi kezeléssel és/vagy tömörítéssel bővíthető. Ilyen úgynevezett továbbfejlesztett autoklávok például: az Ecodas, Hydroclave, Sterival, STI-CHEM Clav, STS, System Drauschke.

A mikrohullámú technológia alapvetően egy gőzalapú alacsony hőmérsékletű termikus folyamat, melyben a fertőtlenítés nedves hő és gőz segítségével valósul meg. A nagyméretű és kisebb mikrohullámú berendezésekre említhető példák az Ecosteryl, Sanitec, Medister, Sintion, Sterifant, Steriflex. A száraz hőn alapuló folyamatokban nem alkalmaznak vizet vagy gőzt. Egyes rendszerekben a hulladék felmelegítésére hőkeverést alkalmaznak, a felmelegített levegőt keringetik a hulladék körül vagy hőszugárzókat alkalmaznak.

A vegyi technológiákban a fertőtlenítőszereket aprítással vagy keveréssel együtt alkalmazzák, hogy ezzel biztosítsák a hulladék vegyszerekkel való kellő mértékű expozícióját.

Mostanáig a klór (nátrium-hipoklorit és klór-dioxid) alapú technológiák alkalmazása volt a legelterjedtebb. Viták jelentkeztek ezek, különösen a szennyvízben megjelenő hipoklorit és származékai lehetséges hosszú távú környezeti hatásait illetően. A nem klóralapú technológiák működésmódjuk és az alkalmazott vegyszerek tekintetében meglehetősen sokfélék. Léteznek olyanok, amelyekben peroxi-ecetsavat (Steris EcoCycle 10), ózongázt (Lymntech), mészkőalapú száraz port, fém katalizátorokat (CerOx), vagy biológiailag lebomló szabadalmaztatott fertőtlenítőszereket alkalmaznak. A lúgos hidrolízisen alapuló technológiát (WR²) szövetek és állati hulladékok valamint fixatívok, citotoxikus szerek és más speciális vegyszerek ártalmatlanítására fejlesztették ki. Bármely kémiai technológia alkalmazásánál ellenőrizni kell a munkabiztonsági előírások betartását és monitorozni kell a dolgozók munkavégzésből eredő expozícióját.

Az elektronsugárzáson alapuló technológia keretében ionizáló sugárzással kezelik az egészségügyi hulladékot, ami elpusztítja a mikroorganizmusok sejtjeit. A Miami Egyetem Szennyezéscsökkentő Technológiai Laboratóriuma szolgálhat példaként az egészségügyi hulladékok kezelésére kifejlesztett elektron-besugárzásos technológiákra. A kobalt 60 besugárzással ellentétben az elektronsugár technológia a besugárzás leállítását követően nem generál maradvány sugárzást. Azonban ahhoz, hogy a dolgozókat megóvják az ionizáló sugárzás expozíciótól, szükség van árnyékolókra és zárószerkezetekre. A biológiai eljárásokban, amilyen például a Bio-Converter, enzimeket alkalmaznak a szerves hulladékok lebontására.

Az egészségügyi intézményeknek egy nem égetéses technológia kiválasztásakor a következő tényezőket kell mérlegelnie:

- Szabályozásnak való megfelelés, hatósági elfogadás
- Feldolgozási kapacitás
- Kezelendő hulladéktípusok

- Mikrobiális inaktiválás határfoka
- Környezeti emissziók és hulladékmaradványok
- Helyigény
- Közművek és egyéb létesítési követelmények
- Hulladékcsökkentés
- Munkabiztonság és munkaegészségügy
- Zaj
- Szag
- Automatizálás
- Megbízhatóság
- Kereskedelmi forgalmazás foka
- A technológia előállítójának vagy forgalmazójának háttere
- Költségek
- A lakosság és a személyzet részéről történő elfogadás

Egyetlen technológia sem kínál tökéletes gyógyírt az egészségügyi hulladék elhelyezésére. Minden technológia rendelkezik előnyökkel és hátrányokkal. Az intézményeknek kell meghatározniuk, melyik nem égetéssel technológia felel meg leginkább az igényeiknek, miközben általa minimalizálja a környezeti hatásokat, fokozza a munkavédelmet és elkötelezettséget tanúsítanak a közegészségügyi kérdések iránt. Ez a forrásmunka ezen célok elérése érdekében általános információkkal segíti a törvényhozókat, kórházvezetőket, intézmény illetve létesítményvezetőket, egészségügyi szakembereket, környezetvédelmi jogászokat és a társadalom tagjait.

Tartalomjegyzék

Előszó	2
Vezetői összefoglaló	4
Bevezetés: Miért részesítendőek előnyben a nem égetéses technológiák az égetéssel szemben	8
Az égetők toxikus légszennyező anyagokat bocsátanak ki	8
Az égetési hamu potenciálisan veszélyes	8
Az égetőművek költségesek	9
Az égetőműveknek új emissziós határértékeket kell betartaniuk	9
A környezetben tartósan megmaradó szerves szennyezőanyagok kiküszöbölésére vonatkozó nemzetközi egyezmény	9
A hulladékcsökkentés és elkülönítés – a nem égetéses technológiák bevezetésének alapelvei	11
Egészségügyi hulladékkategóriák	13
Nem égetéses technológiák – általános kategóriák és eljárások	15
Alacsony hőmérsékletű termikus eljárások	15
Vegyi eljárások	16
Besugárzáson alapuló eljárások	16
Biológiai eljárások	16
Mechanikai eljárások	16
Alacsony hőmérsékletű technológiák: autoklávok, mikrohullámú berendezések és más gőzalapú rendszerek	18
Forró gőz alapú rendszerek – autoklávok, retorták	18
Mikrohullámon alapuló rendszerek	21
Alacsony hőmérsékletű termikus technológiák – száraz hőn alapuló rendszerek	25
Vegyi alapú technológiák	28
Besugárzáson alapuló, biológiai és egyéb technológiák	31
Besugárzáson alapuló technológiák	31
Biológiai rendszerek	34
Éles/hegyes orvosi eszközök ártalmatlanítására szolgáló kisméretű berendezések	34
Egy nem égetéses technológia kiválasztása során megfontolandó szempontok	35
Az ártalmatlanítási technológiák gazdasági vonatkozásai	38

Első fejezet

Bevezetés:

Miért részesítendőek előnyben a nem égetéses technológiák az égetéssel szemben

AZ ÉGETŐK TOXIKUS LÉGSZENNYEZŐ ANYAGOKAT BOCSÁTANAK KI

Az egészségügyi hulladékégetők dioxinokat, furánokat, nehézfémeket (ólmot, higanyt és kadmiumot), finomszemcsés port, hidrogén-kloridot, kén-dioxidot, szén-monoxidot, nitrogén oxidokat és egyéb szennyezőanyagokat, amilyenek például a tökéletlen égéstermékek (Products of Incomplete Combustion: PIP-k) bocsátanak ki a levegőbe. Ezek a vegyületek súlyos egészségkárosító hatást gyakorolnak az égetők személyzetére, a népességre és károsítják a környezetet. A Nemzetközi Rákkutatási Ügynökség (International Agency for Research on Cancer (IARC) a leginkább toxikus dioxint, a 2,3,7,8 TCDD-t az 1-es kategóriába tartozó humán karcinogének közé sorolta be, míg egyes további dioxinokra úgy tekint mint az emberre lehetséges karcinogén hatással rendelkező vegyületekre.¹ A dioxinok a hormonális rendszerre is hatnak, csökkentik a szervezet védekezőképességét, továbbá genetikai károsodásokkal, diabétesszel, endometriózissal és számos egyéb betegséggel hozhatók összefüggésbe.^{2,3,4,5}

A járulékos berendezések vagy a gázfázisú emisszió csökkentésére beszerelt különféle eszközök rendszerint a szilárd hulladékfázisban növelik meg ezen szennyezőanyagok szintjét. Ezenfelül a filterek szűrési hatékonysága az ultrafinom részecskék (nagyon kis szemcseméretű anyagok) esetében korlátozott, beszámolók szerint a 2,5 µm-nél kisebb finom részecskék 5-30 %-át tartják vissza, az 1 µm-nél kisebb részecskéket pedig szinte egyáltalán nem. Ezek az ultrafinom részecskék erősen reaktívak, még abban az esetben is, ha egy viszonylag inert anyagból származnak. Mostanában végzett kutatások szerint ezek belégzése az emberi egészséget károsíthatja.⁶

AZ ÉGETÉSI HAMU POTENCIÁLISAN VESZÉLYES

Szabályként elmondható, hogy az égetőművekbe a gázfázisú emisszió csökkentésére beépített egyetlen járulékos berendezés sem fogja a kibocsátott dioxinok mennyiségét csökkenteni, mindössze az történik, hogy a dioxinok, amint a fentiekben is állítottuk, átkerülnek egy másik hulladékfázisba. Egy, a rendelkezésre álló legjobb technológiát alkalmazó égetőműben a gázfázisú emisszióban megjelenő dioxin a teljes égetési hulladékban megállapított összes dioxin-tartalom mindössze 2 százalékát tette ki. A hamu, a salak, a leülepedett anyagok és a szűrőpogácsa dioxin tartalma a teljes kibocsátott dioxin mennyiség 6, 72, 2 illetve 18 százalékának adódott.⁷ A dioxinok és a furánok mellett a hamu más veszélyes anyagokat és jelentős mennyiségben nehézfémeket (krómot, rezet, ólmot, nikkelt, cinket) is tartalmaz, melyek kikerülhetnek a környezetbe.⁸

A nehézfémeket, dioxinokat, furánt és más toxikus anyagokat tartalmazó pernye a feláramló forró levegő és füstgázok által szállított és az égető kéményén át távozó kis részecskékhez tapad. Ezen anyagok visszatartásának hatékonysága a füstgázszűrő berendezésekben alkalmazott filterek hatékonyságától és minőségétől függ. Azonban a legjobb filterek sem képesek az összes gázfázisú emissziót kiszűrni. A füstgázkezelési eljárás során ártalmas anyagok koncentrálnak és rakódnak le a szűrőpogácsákban, az aktív szén felületeken és a füstgáztisztítás során keletkező szennyvízben. Ezek rendszerint veszélyes hulladékoknak számítanak és ennek megfelelő kezelést igényelnek.

Az égetési és nem égetési technológiákkal keletkezett egészségügyi hulladékmaradványt lerakókban kell elhelyezni.⁹ A hulladékkezelési technológiák rangsorolásában a jellemzőiben a települési hulladékhoz hasonlító mentesített (dekontaminált) hulladék deponálását kellene előnyben részesíteni az égetésből származó veszélyes hulladék deponálásával szemben. Ezenfelül az égetőművek veszélyes hulladékának az erre a célra kialakított speciális lerakóhelyeken való deponálásának költségei többszörösen meghaladják az ártalmatlanított egészségügyi hulladékok települési hulladéklerakókban való deponálásával járó költségeket, és ez megnöveli az egészségügyi intézmények kiadásait.

AZ ÉGETŐMŰVEK KÖLTSÉGESEK

Egy égetőmű vagy egy kiválasztott nem égetéses technológia létesítési és üzemeltetési költségei az egyes országokban különbözhetnek. Ennek hátterében az eltérő jogi szabályozás – hulladék-osztályozás, a települési hulladékkal és veszélyes hulladékkal járó eltérő költségek, illetve a technológiákhoz való hozzáférésben rejlő különbségek és egyéb tényezők állhatnak. Általában azonban a nem égetéses technológiák az egészségügyi hulladékégetőknél kevésbé költségesek. Ezt illusztrálандó az USA-ban egy égetőmű építése háromszor, négyszer annyiba kerül, mint ugyanolyan mennyiségű hulladék ártalmatlanítása autoklávval.¹⁰ A nem égetéses technológiák működtetési költségei is rendszerint alacsonyabbak az égetőművek üzemeltetési költségeinél.

AZ ÉGETŐMŰVEKNEK ÚJ EMISSZIÓS HATÁRÉRTÉKEKET KELL BETARTANIUK

A 200/76/EK számú, a hulladékégetésről szóló EU irányelv szerint az egészségügyi hulladékégetőknek teljesíteniük kell a dioxinokra és furánokra megállapított 0,1 ng TEQ/m³ emissziós határértéket. Jelenleg az új tagállamokban és némely nyugat-európai országban működő egészségügyi hulladékégetők döntő többsége nem felel meg ennek a szabványnak. A határérték teljesítéséhez sok égetőt át kell építeni vagy hatékony filterekkel kell felszerelni. Ehhez több ezer, vagy inkább millió euró nagyságrendű beruházásokra lehet szükség. Az olcsóbb és környezetkímélőbb nem égetéses technológiákba történő beruházás sokkal jobban megtérülő alternatívának tűnik.

A KÖRNYEZETBEN TARTÓSAN MEGMARADÓ SZERVES SZENNYEZŐANYAGOK KIKÜSZÖBÖLÉSÉRE VONATKOZÓ NEMZETKÖZI EGYEZMÉNY

A környezetben tartósan megmaradó szerves szennyezőanyagok kiküszöbölésére vonatkozó nemzetközi egyezményt Stockholmban, Svédországban 2001 májusában írták alá és 2004 májusában lépett életbe. Az 5. cikkely előírja, hogy az országoknak be kell szüntetniük a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyezőanyagok, köztük az ipari folyamatok melléktermékeként keletkező dioxinok termelését. A C. Melléklet az egészségügyi hulladékégetőket a környezetbe kikerülő dioxin fő forrásai között sorolja fel.¹¹

Az európai országok többsége aláírta a Stockholmi Egyezményt és ezért tervet kellene kidolgozniuk a környezetbe jutó és ott tartósan megmaradó szerves szennyezőanyagok mennyiségének csökkentésére.

Az égetőkkel ellentétben az egészségügyi hulladékok nem égetéses technológiákkal való ártalmatlanítása során a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyezőanyagok nem keletkeznek. Ezért a nem égetéses technológiák bevezetése az egészségügyi hulladékok ártalmatlanítására alkalmas megoldás a Stockholmi Egyezményből eredő kötelezettségek teljesítésére.

- ¹ McGregor, DB., Partensky, C., Wilbourn, J., Rice, JM.: An IARC evaluation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans as risk factors in human carcinogenesis (A poliklórozott dibenzo-para-dioxinok és poliklórozott dibenzofuránok mint a humán karcinogenezis kockázati tényezői – a Nemzetközi Rákkutatási Ügynökség értékelése). Environ. Health Perspect., 1998, 106(2):755-60.
- ² Egeland, G., Sweeney, M., Fingerhut, M., Wille, K., Schnoor, T. Total serum testosterone and gonadotropins in workers exposed to dioxin (A dioxinnak kitett dolgozók tesztoszteron és gonadotropin össz-szérumszintje). Am. J. Epidemiol., 1994, 139:272-281.
- ³ Birnbaum, L. Developmental Effects of Dioxins (A dioxinok hatásai az egyedfejlődésre). Environ. Health Perspect., 1995, 103 (Suppl 7):89-94.
- ⁴ Weisglas-Kuperus, N. Neurodevelopmental, immunological and endocrinological indices of perinatal human exposure to PCBs and dioxins (A poliklórozott bifenileknek és a dioxinoknak való perinatális expozíció idegrendszeri fejlődéstani, immunológiai és endokrinológiai mérőszámai. Chemosphere, 1998, 37:1845-1853.
- ⁵ Sweeney, M., Hornung, R., Wall, D., Fingerhut, M., Halperin, W. Prevalence of diabetes and elevated serum glucose levels in workers exposed to 2,3,7,8-tetrachlordibenzo-p-dioxin (TCDD) A diabétesz és a megemelkedett szérum glükóz szintek prevalenciája a 2,3,7,8-tetraklordibenzo-para-dioxinnak (TCDD) kitett dolgozóknál. Előadás, 12. Nemzetközi Szimpózium a Dioxinokról és Rokon Vegyületeiről, Tampere, Finnország, 1992. augusztus 24-28.
- ⁶ Howard C.V., 2000. Particulate Aerosols, Incinerators and Health (Aeroszol részecskék, égetőművek és az egészség), in P. Nicolopoulou-Stamati et.al. (eds.), Health Impacts of Waste Management Policies (Hulladékkezelési politikák egészségügyi hatásai). 155-174, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- ⁷ Giugliano, M., Cernuschi, S., Grosso, M., Miglio, R., and Aloigi, E. PCDD/F mass balance in the flue gas cleaning units of a MSW incinerator plant (PCDD/F tömeg arány egy egészségügyi hulladékégető füstgáztisztító egységeiben). Chemosphere, 2002, 46:1321-1328.
- ⁸ Čížek Zdeněk. The problematics of the laboratory evaluation of the medical waste qualities. Waste from health care (Az egészségügyi hulladékok minősége laboratóriumi kiértékelésének problematikája. Az egészségügyből származó hulladék), proceedings (konferencia kiadvány), BIJO, 2000.
- ⁹ Európában, például Ausztriában és Csehországban több kórházból a mentesített hulladék a későbbiekben égetésre kerül, miközben a nem égetéses technológiák bevezetésének valódi célja a hulladékégetés révén keletkező veszélyes környezetben tartósan megmaradó szerves anyagok kiküszöbölése.
- ¹⁰ Emmanuel. J, Non-incineration Alternatives to the Treatment of Medical Waste (Nem égetéses alternatívák az egészségügyi hulladékok ártalmatlanítására). Előadás az „Environmentally friendly management of medical waste” (Az egészségügyi hulladékok környezetkímélő kezelése) konferencián, Debeli rtič, Szlovénia, 2002. április 12.
- ¹¹ <http://www.pops.int>

Második fejezet

A hulladékcsökkentés és elkülönítés – a nem égetéses technológiák bevezetésének alapelvei

Mielőtt a nem égetéses technológiák műszaki és gazdasági vonatkozásait tárgyalnánk (3-10. fejezet), fontos, hogy ezen technológiák alkalmazását egy szélesebb kontextusban is szemügyre vegyük. Egy alternatív technológiának egy az egészségügyi hulladékkezelés különböző aspektusaival foglalkozó stratégiai keretrendszerbe kell illeszkednie, és ily módon kell biztosítani, hogy a nem égetéses technológiákkal elérhető maximális környezeti, munkaegészségügyi és gazdasági előnyök megvalósulhassanak.

A múltban számos kórházban az összes hulladékfajtát, a recepcióról, a konyhából, a műtőből származó hulladékot, a szennyeződött vágó és szűrőeszközöket, laboratóriumi hulladékokat stb. együtt gyűjtötték és ezt követően az égetőkben elégették. Ezen intézményeket nem ösztönözték a hulladékok elkülönítésére, újrahasznosítására vagy a hulladékmennyiség csökkentésére. A közegészségügy és a környezetvédelem melletti elkötelezettség, a szabályozóknak való megfelelés és a szükségszerű költségcsökkentés megköveteli, hogy a kórházi hulladékok kezeléséről való gondoskodást új alapokra helyezzük.

Egy stratégiai keretrendszer alapelemei a **hulladéktermelés minimalizálása** és a **hulladékok elkülönítése**. A hulladéka-ram különböző összetevőit egymástól el kell különíteni. Különösképpen elkülönítendő a fertőzésveszélyes hulladékok, a települési hulladékok és az alacsony aktivitású radioaktív hulladékok. Mindent meg kell tenni azért, hogy az összes hulladéka-ramot minimalizáljuk és mindegyiket megfelelően deponáljuk. A fennmaradó fertőző hulladékot nem égetéses technológiával kell ártalmatlanítani. (Megjegyzés: Néhány létesítményben nem égetéses technológiával már ártalmatlanított hulladékokat égetnek, ezzel megghiúsítják, hogy az alternatív technológia alkalmazásának célja teljesülhessen.)

A hulladék mennyiség minimalizálása a végső lerakásra kerülő hulladék mennyiségének a lehetséges legnagyobb mértékű, újrahasznosítással, újrafeldolgozással, és egyéb programokkal megvalósuló csökkentése. A hulladék minimalizálás potenciális előnyei: a környezet megóvása, jobb munkabiztonsági és munkaegészségügyi feltételek, költségcsökkentés, csekélyebb kártérítési felelősség, hatósági szabályozóknak való megfelelés, és jobb társadalmi kapcsolatok. Az alábbiakban a hulladékminimalizálási technikák rangsorát közöljük csökkenő preferencia sorrendben:

1. **Forrás csökkentés** – a hulladéktermelés minimalizálása vagy megelőzése magánál a forrásnál. A forráscsökkentésnek prioritást kell élvezni az újrafeldolgozással és az újrafelhasználással szemben. A gyógyító személyzetnek, a hulladékmenedzsereknek és a termék szterilizáló bizottságok tagjainak tisztában kell lenniük azzal, hogy a hulladéka-ramban milyen arányt képviselnek az általuk beszerzett termékekből keletkező hulladékok. Valójában a beszerző személyzet szoros bevonása bármilyen forráscsökkentési mód hatékonysága szempontjából kritikus tényező. Lépéseket kell tenni a szabályozás alá eső egészségügyi hulladékok, veszélyes hulladékok, alacsony aktivitású radioaktív hulladékok és a közönséges szemét keletkezési helyén történő minimalizálására. Néhány egyedi forráscsökkentő technológia:

- a. **Anyagok kiküszöbölése, változtatása vagy termékhelyettesítés**, pl. egy veszélyes hulladékot generáló tisztítószer felváltása egy nem toxikus biológiailag lebomló tisztítószerrel; egyszer használatos eszközök helyett többször felhasználható termékek alkalmazása; a daganatok kezelésében rövid felezési idejű radionuklidok használata a

rádium-226 kristályok helyett;

- b. **A technológia vagy az eljárások megváltoztatása:** pl. nem higanyos eszközök használata higanyos lázmérők és higanyos kapcsolók helyett; ultrahangos vagy gőztisztítás alkalmazása a vegyi tisztítószer helyett, a röntgenfelvételek vegyszeres előhívásának kiváltása számítógépes képrögzítéssel;
 - c. **Beszzerzési preferenciák érvényesítése,** így a kevesebb csomagolóanyaggal szállított, újrahasznosítható termékeket forgalmazó kereskedők kiválasztása;
 - d. **Jó üzemeltetési gyakorlat;** például a raktárkészlettel való gazdálkodás javítása, fertőtlenítő folyadékot tartalmazó tálcák lefedése a párolgási veszteségek elkerülésére; az alkalmazáshoz javasolt minimális adagolás betartása.
2. **Elkülönítés** – biztosítandó, hogy minden egyes hulladék a megfelelő tárolóedénybe kerüljön. A személyzet képzése nélkülözhetetlen ahhoz, hogy a fertőző egészségügyi hulladékot, a veszélyes hulladékot, mint például a higanyt, az alacsony aktivitású radioaktív hulladékot, és a települési hulladékot egymástól elkülönítsék.
3. **Erőforrások kinyerése és visszaforgatás** – a hulladékáramból anyagok visszanyerése és újrahasznosítása. Néhány egyedi példa:
- a. Újságok, csomagolóanyagok, fénymásolópapírok, üveg, alumínium dobozok, építési törmelékek és egyéb újrahasznosítható anyagok újrafeldolgozása;
 - b. Újrahasznosított anyagokból készült termékek vásárlása;
 - c. Szerves konyhai hulladékok komposztálása;
 - d. Ezüst kinyerése fotóvegyszerekből.
4. **Kezelés, ártalmatlanítás** – A hulladék eltávolítására és koncentrálására, lehetőleg inkább a folyamatok közben mintsem a folyamatok végén elvégzendő (end of pipe) kezelés. Példaként említhetők a higany szennyvizekből való eltávolítására alkalmazott filterek és csapdák. A fertőző hulladékoknál a kezelés, az ártalmatlanítás a patogének elpusztítását is magában foglalja. Ezen a ponton lépnek be a nem égetéssel technológiák.
5. **Megfelelő hulladéklerakás** – miután a hulladék minimalizálására szolgáló összes lehetőséget kimerítették, a reziduális hulladékot a környezetre legkevésbé ártalmas módon kell elhelyezni. A legtöbb nem égetéssel technológiánál az ártalmatlanított hulladék egy közönséges települési hulladéklerakóban elhelyezhető.

Az Egészségügy Ártalmak Nélkül nem támogatja az egészségügyi hulladékok ártalmatlanítására vagy fertőtlenítést követő kezelésére alkalmazott égetést, gázosítást, pirolízist vagy plazmabontást.

Harmadik fejezet

Egészségügyi hulladékkategóriák

Egy hulladékelemzés a létesítmény igényeinek leginkább megfelelő nem égetéssel technológia kiválasztásának fontos lépése. A hulladékáram elemzése ezáltal alapot szolgáltat a hulladék minimalizálási lehetőségek felderítéséhez és az elkülöníthetőség mértékének megállapításához. Az elemzés révén az egészségügyi intézmények meggyőződhetnek arról, hogy egyes hulladékokat nem osztályoztak-e indokolatlanul biológiailag veszélyes hulladékként, és értékelhetik, milyen mértékben teljesítik a hulladékkezelésre és elhelyezésre vonatkozó előírásokat. Egy hulladék audit a kórházi hulladékáram elemzésének hatékony eszköze.

Az egészségügyi hulladékok az emberek és állatok diagnózisa, kezelése és immunizálása során keletkező hulladékként definiálhatók. A teljes hulladékáramot célszerű az alábbi négy kategóriába besorolni:

1. **Települési szilárd hulladék**, mely újrafeldolgozható vagy komposztálható anyagokat is tartalmaz.
2. **Fertőző hulladék**, melyet általában olyan hulladékként definiálnak, ami fertőző betegségeket okozhat. A használatban lévő további kifejezések: veszélyes biológiai hulladékok, orvosbiológiai hulladékok, vagy „vörös zsák” hulladék. A fertőző hulladékokat kezelni és ártalmatlanítani kell a lerakás előtt (99/31/EK irányelv).
3. **Veszélyes hulladék**, mely olyan hulladékként definiálható, ami mortalitást vagy súlyos betegségeket okozhat, vagy azokhoz szignifikánsan hozzájárulhat, illetve nem megfelelő kezelése és lerakása esetén komolyan veszélyeztetheti az emberek egészségét vagy a környezetet.
4. **Alacsony aktivitású radioaktív hulladék**, amely olyan sugárzási jelenségeket mutat, amilyen a radioaktív bomlás.

3-1. táblázat. A EU Hulladékkatalógusa és a WHO szerinti egészségügyi hulladék kategóriák

Európai Hulladékkatalógus	Egészségügyi hulladék kategóriák (WHO)
18 01 01 Éles/hegyes orvosi eszközök (18 01 03 kivételével)	Éles/hegyes orvosi eszközök
18 01 02 Testrészek és szervek, tasakos vérkészítmények, vérkonzervek (18 01 03 kivételével)	Patológiai hulladék
18 01 03* hulladékok, melyek gyűjtésére és lerakására a fertőzések megelőzése érdekében speciális követelmények vonatkoznak	Fertőző hulladék
18 01 04 hulladékok, melyek gyűjtésére és lerakására nem vonatkoznak speciális követelmények a fertőzések megelőzése végett (például ágynemű, eldobható ruhanemű,	Nem ártalmas vagy „általános” egészségügyi hulladék
18 01 06* veszélyes anyagokból álló vagy ilyeneket tartalmazó vegyszerek	Vegy hulladék Magas nehézfém tartalmú hulladék

18 01 07 a 18 01 06 kategóriába nem tartozó vegyszerek	Vegyí hulladék
18 01 08* citotoxikus és citosztatikus vegyszerek	Genotoxikus hulladék
18 01 09 a 18 01 08 kategóriába nem tartozó gyógyszerek	Gyógyszeripari hulladék
18 01 10* fogorvosi ellátásból származó amalgám hulladék	Magas nehézfém tartalmú hulladék
15 01 11* veszélyes szilárd porózus szövetet (például azbesztet) tartalmazó fém csomagolóeszközök, például üres nyomásálló tartályok	Nyomásálló tartályok
Nemzeti szabályozás [EU tervezet: COM(2003) 32 végleges]	Radiológiai hulladék
(*) veszélyes hulladékként besorolt	

A hulladék kategóriákat az Európai Hulladékkatalógusban határozták meg és ezek nemzeti jogalkotással tovább definiálhatók. A jelen útmutató a szabályozás alá eső egészségügyi hulladékokra koncentrál.

A fertőző hulladékok becslések szerint a teljes hulladékáram legfeljebb 15 százalékát teszik ki.

Hatékony hulladék elkülönítő rendszerek és a fertőző hulladékokból eredő tényleges fenyegetésre alapuló osztályozási rendszerek bevezetésével ez a mennyiség 3-5 százalékra csökkenthető.¹

Habár a fertőző hulladékok az egészségügyi létesítményekben keletkező teljes hulladékmennyiségnek csak csekély részét alkotják, az egészségügyi hulladék kezelésére, lerakására fordított költségekből jelentős részt képviselnek. Amíg 2001-ben a Na Homolce Kórházban (Csehország) a fertőző hulladékok aránya csak a teljes kórházi hulladékmennyiség 17 százaléka volt, ennek elhelyezési költsége az összes hulladék elhelyezési költség 81 százalékát tette ki.²

¹ Környezet-egészségügyi és Kórházi Epidemiológiai Intézet. A kórházi hulladék csökkentése és hasznosítása, különös tekintettel a toxikus és fertőző hulladékokra. Végso jelentés, LIFE96/ENV/D/10, Freiburg, 2000 augusztus.

² A Na Homolce Kórház (Csehország) által közölt információk alapján.

Negyedik fejezet

Nem égetéssel technológiák – általános kategóriák és eljárások

A nem égetéssel technológiák többféleképpen osztályozhatók – a méret, a beszerzési ár, a kezelt hulladékfajta, vagy a piaci részesedés alapján. Ebben a fejezetben a technológiákat a hulladék ártalmatlanítására alkalmazott alapeljárások szerint kategorizáljuk. A négy alapeljárás a következő:

1. **Alacsony hőmérsékletű termikus eljárások**
2. **Vegyi eljárások**
3. **Besugárzáson alapuló eljárások**
4. **Biológiai eljárások**

A nem égetéssel technológiák többségében a fentiek közül az első két eljárást alkalmazzák. Az alábbiakban mind a négy eljárást bemutatjuk az alapeljárásokat kiegészítő **mechanikai eljárásokkal** egyetemben.

A termikus eljárásokban hő (hőenergia) révén pusztítják el a hulladékban lévő patogéneket. Ez a kategória tovább bontható alacsony, közepes és magas hőmérsékletű eljárásokra, és erre azért van szükség, mert a termikus folyamatokban lejátszó fizikai és kémiai mechanizmusok jelentősen megváltoznak közepes és magas hőmérsékleteken.

Az alacsony hőmérsékletű eljárásokban a hulladék ártalmatlanítására alkalmazott hőmérséklet nem elegendő ahhoz, hogy kémiai bomlást indukáljon, pirolízist vagy égést indítson meg. Az egészségügyi hulladékegetők, a pirolízis, gázosító, és plazmaív technológiák magas-hőmérsékletű termikus technológiáknak tekinthetők, melyekben a szerves és szervetlen anyagokat egyaránt érintő kémiai és fizikai változások vezetnek a hulladék megsemmisítéséhez.

Az egészségügyi hulladékegetők a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyezőanyagok, köztük a dioxinok fő forrásai. Az emberi egészségre kifejtett káros hatásai miatt az égetést nem szabadna ajánlani és nem lehet az egészségügyi hulladék ártalmatlanításának preferált módszere.

ALACSONY HŐMÉRSÉKLETŰ TERMIKUS ELJÁRÁSOK

Általánosságban az alacsony hőmérsékletű technológiák 93 és kb. 177 °C közötti hőmérsékleten üzemelnek. Az alacsony hőmérsékletű termikus eljárások két alapkategóriája a nedves illetve száraz hővel (gőzzel illetve forró levegővel) folyó fertőtlenítés. A nedves hővel történő kezelésben gőzt alkalmaznak a hulladék ártalmatlanítására és sterilizálására és ez rendszerint autoklávban történik. A mikrohullámú kezelés is eredendően gőzsterilizálási eljárás, mivel a hulladékhoz vizet adagolnak és a mikroorganizmusokat a mikrohullámú energia által generált nedves hő és gőz pusztítja el.¹ A száraz hőn alapuló eljárásokban nem történik víz vagy gőz adagolás. Ehelyett a hulladékot hővezetéssel, természetes vagy indukált hőáramlással vagy hőszugárzással, infravörös fűtőkészülékek alkalmazásával melegítik fel.

VEGYI ELJÁRÁSOK

A vegyi eljárásokban fertőtlenítőszereket, például oldott klór-dioxidot, hipót (nátrium-hipokloritot), perecetsavat, vagy szilárd szervesetlen vegyületeket alkalmaznak. Hogy a hulladékok fertőtlenítőszerekkel való expozícióját fokozzák, a vegyi eljárások során nem ritka a hulladék aprítása, őrlése vagy keverése. Folyadék rendszerekben a hulladékot egy víztelenítési szakaszon is átvezethetik, hogy a fertőtlenítőszert eltávolítsák és újrahasznosítsák. A vegyi fertőtlenítőszerek mellett léteznek bevonó vegyületek, amikkel a szűrő és vágóeszközök, a vér és egyéb testfolyadékok egy szilárd mátrixban szilárd fázisba vihetők a hulladék megsemmisítése előtt. Egy fejlesztés alatt álló technológia ózont alkalmaz az egészségügyi hulladékok kezelésére, más technológiák katalikus oxidációt alkalmaznak. Egy új rendszer fűtött rozsdamentes acél tartályokban lúgokat alkalmaz a szövetek hidrolíziséhez.

BESUGÁRZÁSON ALAPULÓ ELJÁRÁSOK

A besugárzás alapú technológiák elektronsugarakat, kobalt-60 illetve UV besugárzást alkalmaznak. Ezeknél a technológiáknál a dolgozók expozíciójának kivédéséhez követelmény az árnyékolás. Az elektronsugaras kezelés nagy energiájú elektron zuhanyt alkalmaz, ami a hulladékban lévő mikroorganizmusokat kémiai disszociációval illetve a sejtfal felbontásával pusztítja el. A patogének elpusztításának hatékonysága a hulladéktömeg által adszorbeált sugárásmennyiségtől függ, ami viszont a hulladék sűrűségének és az elektronok energiájának függvénye. A germicid ultraibolya sugárzást (UV-C) más kezelési technológiák kiegészítőjeként alkalmazták. A besugárzás fizikai változást nem okoz a hulladékban, és a hulladék felismerhetetlenné tételéhez egy őrlő vagy aprító berendezéssel kell kiegészíteni.

BIOLÓGIAI ELJÁRÁSOK

A biológia eljárásokban enzimeket alkalmaznak a szerves anyagok lebontására. Csak néhány nem égetésszerű technológia alapul biológiai eljáráson.

MECHANIKAI ELJÁRÁSOK

A mechanikai eljárások – mint például az aprítás, őrlés, őrlőkalapács, keverés, agitálás, folyadék-szilárd fázis elválasztás, mozgatás (fúrócsigákkal, döngölőkkel, szállítószalagokkal) és tömörítés – kiegészítik a többi technológiai eljárást. A mechanikai roncsolás a hulladékot felismerhetetlenné teszi, és az orvosi szűrő/vágóeszközök roncsolására alkalmazzák, hogy ezzel a sérülés veszélyét minimalizálják és ezen eszközöket használhatatlanná tegyék. A termikus vagy vegyi alapú eljárásokban a mechanikai berendezések, például aprító és keverőgépek fokozhatják a hőátadás mértékét vagy nagyobb felületen teszik lehetővé a fertőtlenítőszerrel való érintkezést. A mechanikai eljárások jelentősen megnövelhetik a karbantartás igényt.

A mechanikai eljárás csak kiegészítő szerepű és önmagában nem tekinthető a hulladékártalmatlanítás egy formájának. Amennyiben az aprítók, törőkalapácsok és más mechanikai roncsoló eljárások nem egy zárt hulladékkezelő rendszer integráns részei, úgy csak a hulladék ártalmatlanítását, fertőtlenítését követően alkalmazhatóak. Másként a dolgozók ki lennének téve a mechanikai roncsolással a környezetbe juttatott patogénekkel való érintkezésnek. Abban az esetben, ha a mechanikai eljárások a rendszer részét képezik, a technológiát oly módon kell kifejleszteni, hogy a mechanikai eljárásban használt és abból eredő levegő fertőtlenítésre kerüljön mielőtt azt a légterbe kibocsátanák. Ez különösen fontos az adagolással a mechanikai folyamatba (nem a beeresztőszelepen keresztül) bekerülő levegő esetében. Ezt gyakran úgy oldják meg, hogy egy szívó

ventillátort alkalmaznak, ami negatív nyomást alakít ki a kamrában, melyben a mechanikai kezelés folyik; a mechanikai folyamatból kivont levegő egy fertőtlenítő kamrán vagy egy nagy hatékonyságú részecskeszűrőn (HEPA szűrőn) áramlik át, mielőtt a környezetbe bocsátanák.

A 4-1. táblázatban néhány nem égetéses technológiát sorolunk fel kategóriák szerint. Ezek a technológiák a keletkezési helyszínen vagy annak közelében használható kis berendezésektől a nagy egészségügyi központokban vagy regionális létesítményekben alkalmazható nagy kapacitású rendszerekig terjednek.

Ezeket a technológiákat a következő fejezetekben ismertetjük.

¹ Különböző vizsgálatok igazolják, hogy a mikrohullámú energia önmagában nem inaktiválja szignifikáns mértékben a sejteket, mikroba pusztító hatása elsősorban a nedves hőnek köszönhető. Példaként lásd: G.R. Vela and J.F. Wu. Applied and Environmental Microbiology, 1979, 37(3), 552.

² Ez alapján véve egy nagyméretű csavar, ami egy henger belsejében forog és ezáltal tolja előre a hulladékot.

4-1. táblázat Az egészségügyi hulladékok kezelésére szolgáló nem égetéses technológiák	
Nem égetéses technológia	Technológia neve, forgalmazó
ALACSONY HŐMÉRSEKLETŰ ELJÁRÁSOK	
Autokláv vagy retorta	Tuttnauer
Aprítás-gőz-keverés/szárítás	Ecodas
Gőz-keverés-fragmentálás/szárítás	Hydroclave Systems Corp.
Aprítás-gőz-keverés/szárítás, vegyi	Steriflash, T.E.M.
Vákuum-gőz/szárítás/aprítás	Sterival, Starifant Vetriebs GmbH
Aprítás-gőz/szárítás, vegyi	STI Chem-Clav, Waste Reduction Europe Ltd
Aprítás-gőz-keverés/tömörítés	STS, Erdwich Zerkleinerungssysteme GmbH
Vákuum-gőz/szárítás/aprítás	System Drauschke, GÖK Consulting AG
Gőz-fragmentálás/szárítás	ZDA-M3, Maschinenvertrieb für Umwelttechnik GmbH
Mikrohullámú kezelés	Ecosteryl, AMB S.A.
Mikrohullámú kezelés	Medister, Meteka
Mikrohullámú kezelés	Sanitec
Mikrohullámú kezelés	Sintion, CMB Maschinenbau und Handels GmbH
Vákuum-gőz/mikrohullámú kezelés/szárítás/aprítás	Sterifant Vetriebs GmbH
VEGYI ELJÁRÁSOK	
Fragmentálás-gőz-NaClO/Cl ₂ O	Newster, Multiservice First s.r.l.
Lúgos hidrolízis	WR ² , Waste Reduction Europe Ltd
BESUGÁRZÁSOS ELJÁRÁSOK	
Elektronsugár-aprítás	U. Miami E-beam
BIOLÓGIAI ELJÁRÁSOK	
–	Európában jelenleg nem elérhetők

Az Egészségügy Ártalmak Nélkül egyetlen technológiát, vállalatot vagy márkanév sem reklámoz, és nem állítja, hogy a technológiák felsorolása e kiadványban teljes körű.

Ötödik fejezet

Alacsony hőmérsékletű technológiák: autoklávok, mikrohullámú berendezések és más gőzalapú rendszerek

FORRÓ GŐZ ALAPÚ RENDSZEREK – AUTOKLÁVOK, RETORTÁK

A kórházakban a többször használatos eszközök fertőtlenítésére alkalmazott sztenderd **gőzsterilizációt** adaptálták az egészségügyi hulladékok kezelésére. A gőzkezelésre két hagyományos berendezéstípus szolgál, az autoklávok és a retorták. Az elmúlt években újabb berendezéseket is kifejlesztettek, ezek az úgynevezett továbbfejlesztett autoklávok. A gőz hasznosításában egy egyedi megoldás a mikrohullámú berendezés, amelyben a fertőtlenítés, a sterilizálás nedves hővel és gőzzel történik.

Az **autokláv** egy betöltő ajtóval légmentesen lezárható fémkamrából és az azt körülvevő gőzköpenyből áll. A gőz a külső köpenybe és a belső nyomásálló kialakítású kamrába is bejut. A külső köpeny fűtése csökkenti a belső kamra falán a kondenzációt, és lehetővé teszi, hogy a gőzt alacsonyabb hőmérsékleten alkalmazzák. Minthogy a levegő hatásosan szigetel, ahhoz, hogy a hulladékot a hő átjárhassa, feltétlenül szükséges, hogy a levegőt a kamrából eltávolítsák. Ezt kétféleképpen érik el, gravitációs kiszorítással vagy előzetes vákuumozással.

A *gravitációs (vagy lefelé irányuló) kiszorítással működő autoklávokban* azt a tényt használják ki, hogy a gőz könnyebb a levegőnél; a gőzt nyomás alatt vezetik be a kamrába, ami a levegőt a kamra alján elhelyezkedő kivezető nyíláson vagy csövön keresztül kiszorítja. Hatékonyabb módszer a gőz bevezetése előtt vákuum generálása egy vákuumpumpával, amint ez az elővákuumot alkalmazó autoklávokban történik.

Az *elővákuumot (vagy erős vákuumot) alkalmazó autoklávokban* rövidebb idő alatt elvégezhető a sterilizálás, mivel hatékonyabban távolítják el a levegőt.

A **retorta** hasonlít az autoklávokhoz, de nem tartalmaz gőzköpenyt. Előállítása olcsóbb, de magasabb hőmérsékletű gőzt követel meg, mint egy autokláv. A retortákat nagy kapacitású alkalmazásoknál használják.

MŰKÖDTETÉS

Egy autokláv vagy retorta tipikus üzemeltetési ciklusa a következőkből áll:

- *Hulladék gyűjtése, előkészítése:* Egy kocsit vagy szemetes tartályt speciális műanyag béléssel vagy nagyméretű autoklávozható műanyag zsákokkal bélelnek ki, megakadályozandó, hogy a hulladék a tartály falához tapadjon.
- *Előfűtés (autoklávoknál):* Gőz bevezetése az autokláv külső köpenyébe.
- *Hulladék betöltése:* A hulladéktartályokat behelyezik az autokláv vagy retorta kamrájába. Rendszeres időközönként kémiai vagy biológiai indikátorokat kell elhelyezni a hulladék belsejében, hogy a fertőtlenítés hatásfokát monitorozhassuk. A betöltő ajtó zárásával a kamrát légmentesen lezárjuk.

- *Levegő eltávolítása:* A levegőt a fentiekben leírt módon gravitációs kiszorítással vagy előzetes vákuumozással eltávolítjuk.
- *Gőzkezelés:* Gőzt vezetünk a kamrába, amíg a kívánt hőmérsékletet elérjük. A hőmérséklet beállított ideig való fenntartását szolgáló további gőzadagolás a kamrába automatikus.
- *Gőz kieresztése:* A gőzt rendszerint egy kondenzoron átvezetve kieresztjük a kamrából, amelyben így lecsökken a hőmérséklet és a nyomás. Egyes rendszerekben a maradék gőzt utóvákuumozással távolítják el.
- *Kiürítés:* Általában meg kell várjuk, amíg a hulladék tovább hűl, ezután az ártalmatlanított hulladékot kivesszük és az esetleg behelyezett indikátor csíkokat eltávolítjuk és kiértékeljük.
- *Mechanikai kezelés:* Az ártalmatlanított hulladékot általában egy aprító vagy tömörítő gépbe töltik mielőtt egy higiénikus hulladéklerakóban elhelyeznék.

KEZELHETŐ HULLADÉKFAJTÁK

Az autoklávokban és retortákban rutinszerűen kezelt hulladékfajták a tenyészetek és törzsoldatok, szűrő és vágóeszközök, vérrel és kismennyiségű folyadékkal szennyezett anyagok, izolációs és sebészeti hulladékok, laboratóriumi hulladékok (a vegyszerek kivételével), valamint a betegellátásból származó könnyű hulladékok (géz, kötések, szövetek, köpenyek, ágyneműk stb.). Elegendő idő alatt és megfelelő hőmérsékleten, valamint a hulladékot felismerhetetlenné roncsoló mechanikai rendszerekkel technikailag lehetséges volna a humán anatómiai hulladékok ártalmatlanítása is, de ezt etikai, jogi, kulturális és egyéb megfontolások kizárják.

Illékony vagy félig illékony szerves vegyületek, kemoterápiás hulladékok, higany, egyéb veszélyes vegyi hulladékok és radiológiai hulladékok nem kezelhetők autoklávokban vagy retortákban. Kerülendő a nagyméretű és térfogatú ágyneműk, nagy állattetemek, lezárt hőálló tartályok és egyéb olyan hulladékok betöltése, melyek a hőátadást akadályozzák.

EMISSZIÓK ÉS REZIDUÁLIS HULLADÉK

Elégtelen szellőztetés esetén az autoklávok és retorták környezetében jelentkező szagok gondot okozhatnak.

Ha a hulladékáramokat nem különítik el megfelelően, és emiatt a kezelést végző berendezések kamráiba veszélyes vegyszerek is bekerülnek, a toxikus szennyeződések megjelennek a levegőben, a kondenzátumban, a kezelt hulladékban. Ez történik, amikor daganatellenes gyógyszerekkel vagy nehézfémekkel, például higannyal szennyezett hulladékot töltenek be az autoklávba. Így a nem megfelelően elkülönített hulladék alacsony koncentrációban alkoholokat, fenolokat, aldehideket és egyéb szerves vegyületeket bocsáthat ki a levegőbe. Hasznos lenne a tipikus feltételek mellett üzemelő autoklávokra vonatkozóan több emissziós tesztet elvégezni.

Egy, az USA Országos Munkavédelmi és Munkaegészségügyi Intézete (National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH) által egy autoklávot üzemeltető létesítménynél végzett vizsgálat¹ szerint a dolgozók által használt légtérben és munkaterületen egyetlen illékony szerves vegyület (Volatile Organic Compounds: VOCs) szintje sem lépte túl az USA Munkavédelmi és Munkaegészségügyi Hivatala által megszabott expozíciós határértékeket. Az autoklávot

üzemeltető létesítményben mért legmagasabb VOC szint a 2-propanol 643 mg/m^3 koncentrációja volt. Egyes autoklávokban vagy retortákban korróziógátlókkal vagy vízkövesedést gátló szerekkel (kis mennyiségű neutralizáló aminnal) kezelt gőzt alkalmaznak. Felmerültek megalapozatlannak tűnő állítások azzal kapcsolatban, hogy az autoklávokban az égetőknél is nagyobb mennyiségben képződnek dioxinok. A szerzőknek egyetlen ezt igazoló tudományos közleményről sincs tudomásuk. A kutatók között általános az egyetértés azt illetően, hogy dioxinok jóval az autoklávok üzemelési hőmérséklete fölötti, $250\text{--}450^\circ\text{C}$ közötti hőmérséklet-tartományban képződnek. Ezentúl a dioxin képződésről azt tartják, hogy azt a fémek és klorid forrás jelenlétében az égetés során keletkező szálló pernye katalizálja. Sem a fentiekben említett hőmérséklet-tartomány nem jellemző sem a szálló pernye nem fordul elő az autoklávokban, mivel nem folyik bennük égetés. Ugyanakkor ezek a feltételek teljesülnek, valamint az ismert prekursorok (az égetéskor létrejövő azon vegyületek, melyek dioxin képződéshez vezetnek) jelen vannak az égetőművek égetőkamráiban keletkező és onnan távozó égéstermékekben.

Az autoklávban vagy retortában ártalmatlanított hulladék fizikai megjelenése nem változik meg. Egyes lerakó üzemeltetők visszautasíthatják a felismerhető hulladékok befogadását. Mivel a gőz érdemben nem változtat a hulladék fizikai megjelenésén, a hulladék felismerhetetlenné roncsolásához valamilyen mechanikai eljárást, egy aprító vagy őrlőgépet kell alkalmazni. Az aprítás a kezelt hulladék térfogatát 60-80 százalékkal csökkentheti.

MIKROBIÁLIS INAKTIVÁLÁS

Az autoklávokban és a retortákban egy meghatározott minimális expozíciós időre és hőmérsékletre van szükség a megfelelő ártalmatlanításhoz, sterilizáláshoz. A különböző körülményekhez ajánlott idő és hőmérséklet paraméterek számos hivatkozásban megtalálhatók.² Az expozíciós idők általában a baktérium spórák $6 \log_{10}$ mértékű elöléséhez ideális körülmények között szükséges időtartam kétszeresén alapulnak; ez ezekből becsülhetők a különböző hőmérsékleti értékekre vonatkozó ekvivalens expozíciós idők. Egy elterjedt expozíciós hőmérséklet és idő a 121°C -on 30 perig tartó kezelés.

A teszt betöltések közepébe behelyezett színreakciót adó kémiai indikátorok vagy biológiai monitorok (pl. *B. stearrothermophilus* vagy *B. subtilis* spóra csíkok) alkalmazásával és kiértékelésével kell igazolni, hogy a gőz elegendő mértékben átjárta a hulladékot és az expozíciós idő is elég hosszú.

A TECHNOLÓGIA ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI

Az autoklávok és retorták előnyei az alábbiak:

- A gőzzel történő kezelés egy régóta igazolhatóan bevált, sikeres technológia.
- A technológia a kórházi személyzettel és a lakossággal könnyen megértethető és elfogadtatható.
- Az egészségügyi hulladékok ártalmatlanítására a legtöbb országban engedélyezett illetve elfogadott technológia.
- A hatékony, magas fokú fertőtlenítéshez megkövetelt idő és hőmérséklet paraméterek kellően megalapozottak.

- Az autoklávok számos különböző méretben elérhetők, az óránkénti néhány kilótól a több tonnás kezelési kapacitásig.
- Ha a kellő odafigyeléssel kizárjuk a veszélyes anyagok betöltését, az autoklávokból és retortákból származó emissziók minimálisak.
- A beruházási költségek viszonylag alacsonyak.
- Számos gyártó kínál olyan opciókat, mint a programozható számítógépes vezérlés, a kocsikhoz sínek és emelőliftek, a kezelési paraméterek folyamatos rögzítése, autoklávozható kocsik és kocsimosók valamint aprítógépek.

A hátrányok:

- A technológia révén nem válik felismerhetetlenné a hulladék és aprító vagy őrlőgép alkalmazása nélkül nem csökken a kezelt hulladék térfogata sem.
- A hulladékban bármilyen nagyméretű, kemény fémtárgy tönkretetheti az aprító illetve őrlőgépet.
- Kellemetlen szagok képződhetnek, amik viszont megfelelő légkezelő berendezéssel minimalizálhatók.
- Amennyiben a hulladék veszélyes vegyszereket, például formaldehidet, fenolt, citotoxikus vegyszereket vagy higanyt tartalmaz, ezek a toxikus szennyeződések a levegőbe, a szennyvízbe, vagy a lerakót szennyező reziduális hulladékba is bekerülnek.
- Amennyiben a technológiának nem része valamilyen szárítási folyamat, a kezelt hulladék tömege a kondenzálódott gőz miatt nagyobb lesz az eredeténél.
- A hővel való közvetlen érintkezés vagy a hőátadás gátló tényezői (például a nem megfelelő levegőtlenítés, a túlzott hulladékmennyiség, a kis hővezetésű nagy térfogatú hulladék anyagok, vagy a több zsákba csomagolt hulladéktöltetek, a levegőzsebek, a lezárt hőszigetelt tárolóedények stb.) veszélyeztethetik a hulladék hatékony ártalmatlanítását az adott rendszerben. Elkülönítetten gyűjtendő és más technológiával kezelendő hulladékfajták például a légüres tartályok és pleurovac készülékek.

MIKROHULLÁMON ALAPULÓ RENDSZEREK

A **mikrohullámmal történő dezinfekció** alapvetően egy gőzalapú eljárás, amelyben a fertőtlenítés a mikrohullámú energia által fejlesztett nedves hőnek és gőznek köszönhető.

A mikrohullámok az elektromágneses spektrum nagyon alacsony hullámhosszú sugarai, melyek a rádiófrekvenciás sávba tartoznak, és a televíziózásban használt ultra-magas frekvenciák (UHF) és a az infravörös hullámhossztartomány között foglalnak helyet. A nagyfeszültségű elektromos energiát a *magnetron* alakítja át mikrohullámú energiává, ezt pedig egy fém csatorna, az úgynevezett hullámvezető irányítja egy adott helyre (például a mikrohullámú sütőben a melegítő térbe, vagy a fertőtlenítő berendezésben abba a kamrába, amelyben a kezelés folyik).

A mikrohullámot hasznosító rendszerekben rendszerint egy dezinfekciós tér vagy kamra található, amibe a mikrohullám generátor (magnetron) által keltett mikrohullámú energiát bevezetik. Tipikusan 2-6, egyenként 1,2 kW teljesítményű magnetront alkalmaznak. Egyes rendszereket kötegetelt folyamatra terveztek, másokat szemi-kontinuus üzemelésre. Az európai alternatív technológiai piacon sikeres, bevezetett, mikrohullámon alapuló rendszerek a Medister, Sanitec, Sintion, Sterifant.

MŰKÖDTETÉS

(A Sanitec Mikrowave rendszert alapul véve) egy mikrohullámú berendezés működtetése az alábbi lépésekből áll:

- *Hulladék betöltés:* A vörös zsákokat a betöltő szerkezethez rögzített kocsikba helyezzük. Ezután magas hőmérsékletű gőzt injektálunk a töltő garatba, Amíg a levegőt egy HEPA szűrőn átvezetve kiszivattyúzzuk, a garat felső szelepét kinyitjuk és a hulladékkal telt konténert felemeljük és a garatba billentjük.
- *Belső aprítás:* Amint a garat szelepét lezárjuk, a garatban lévő hulladékot először egy forgó adagolókaral roncsoljuk majd egy aprítógépben kisebb darabokra daráljuk.
- *Mikrohullámú kezelés:* A ledarált darabokat egy forgó szállítócsigával szállítjuk keresztül, miközben gőzzel kezeljük majd négy vagy hat mikrohullám generátorral 95 és 100 °C közé melegítjük fel.
- *Retenció idő:* A retenció szakaszban biztosítjuk, hogy a hulladék kezelése minimum 30 percen át történjék.
- *Opcionális másodszori aprítás:* A kezelt hulladékot egy második örlőgépben még kisebb részekre roncsolhatjuk. Ezt az éles/szűrő orvosi eszközök ártalmatlanítása során alkalmazzuk. A második opcionális örlőgépet 20 perccel a művelet előtt illeszthetjük a rendszerhez, a második szállítócsiga végéhez.
- *Kiürítés:* A kezelt hulladékot egy második szállítócsigával vagy csigafúróval a retenció téréből közvetlenül egy szemetestartályba vagy egy billenthető konténerbe juttatjuk. A szemeteskonténert egy tömörítőhöz vagy közvetlenül a higiénikus hulladéklerakóhoz szállíttathatjuk.

KEZELHETŐ HULLADÉKFAJTÁK

A mikrohullámon alapuló rendszerekben kezelt hulladékfajták megegyeznek az autoklávokban és retortákban ártalmatlanítottakkal, azaz ide tartoznak a tenyészetek és törzsek, éles/hegyes orvosi eszközök, vérrel és testfolyadékkal szennyezett anyagok, izolációs és sebészeti hulladékok, laboratóriumi hulladékok (a vegyszerek kivételével), valamint a betegellátásból származó könnyű hulladékok (géz, kötések, szövetek, köpenyek, ágyneműk stb.) Elegendő idő alatt és megfelelő hőmérsékleten, valamint a hulladékot felismerhetetlenné roncsoló mechanikai rendszerekkel technikailag lehetséges volna a humán anatómiai hulladékok ártalmatlanítása is, de ezt etikai, jogi, kulturális és egyéb megfontolások kizárják.

Illékony vagy félig illékony szerves vegyületek, kemoterápiás hulladékok, higany, egyéb veszélyes vegyi hulladékok és radiológiai hulladékok nem kezelhetők mikrohullámot hasznosító

rendszerekben.

EMISSZIÓK ÉS REZIDUÁLIS HULLADÉK

Egy connecticuti laboratóriumi csoport, egy londoni kutatólaboratórium és egy lyoni (Franciaország) kutatóintézet vizsgálatai szerint a Sanitec berendezéséből az aeroszokok emissziója minimális szintű.

Ha a hulladékáramokat nem különítik el megfelelően, emiatt az ártalmatlanítást végző berendezések kamráiba veszélyes vegyszerek is bekerülnek, a toxikus szennyezések megjelennek a levegőben, a kondenzátumban, a kezelt hulladékban. Egy, az USA Országos Munkavédelmi és Munkaegészségügyi Intézete (National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH) által egy mikrohullámon alapuló technológiát alkalmazó létesítménynél végzett független vizsgálat szerint a dolgozók által használt légtérben és munkaterületen egyetlen illékony szerves vegyület (Volatile Organic Compounds: VOC) szintje sem lépte túl az USA Munkavédelmi és Munkaegészségügyi Hivatala által megszabott expozíciós határértékeket. Az autoklávot* üzemeltető létesítményben mért legmagasabb VOC szint a 2-propanol 2318 mg/m³ koncentrációja volt.

MIKROBIÁLIS INAKTIVÁLÁS

Egy mikrohullámú berendezéssel kezelt hulladék mikrobiológiai vizsgálata³ során az alábbi tesztorganizmusoknál nem tudtak növekedést kimutatni: *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Nocardia asteroides*, *Candida albicans*, *Aspergillus fumigatus*, *Mycobacterium bovis*, *Mycobacterium fortuitum*, valamint kacsá hepatitis (mindezek az eredmények legalább 7 log₁₀ arányú mikrobiális sejtpusztulással egyenértékűek). A *Giardia miura* esetében sem mutattak ki növekedést (3 log₁₀-nél magasabb arányú mikrobiális sejtpusztulással). Más vizsgálatok⁴ egyéb mikroorganizmusok esetében mutatatták ki a nedves környezetben végzett mikrohullámú sterilizálás hatékonyságát.

A TECHNOLOGIA ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI

A mikrohullámon alapuló technológia előnyei:

- Mivel sokan rendelkeznek mikrohullámú sütővel, a kórházi személyzet és lakosok könnyen megértik és elfogadják a technológiát.
- Ez egy engedélyezett vagy elfogadott alternatív technológia és évek óta több tucat berendezés van üzemben.
- Ha a kellő odafigyeléssel kizárjuk a veszélyes anyagok betöltését, a mikrohullámú berendezésekből származó emissziók minimálisak.
- A Sanitec mikrohullámú berendezésében nem keletkezik elfolyó folyadék.

(* A fordító megjegyzése: Feltehetően elírás az eredeti szövegben, az emisszió érték valószínűleg egy mikrohullámú berendezést üzemeltető létesítményre vonatkozik.)

- A belső aprítógép a hulladék térfogatát akár 80 százalékkal is csökkentheti.
- A technológia automatizált, könnyen üzemeltethető és csak egy gépkezelőt igényel.

Hátrányai:

- Amennyiben a hulladék veszélyes vegyszereket tartalmaz, ezek a toxikus szennyeződések a levegőbe vagy a lerakót szennyező reziduális hulladékba is bekerülnek.
- A mikrohullámú berendezés körül kellemetlen szagok keletkezhetnek.
- Az éles/hegyes orvosi eszközök ártalmatlanításánál alkalmazott aprítógép zajos lehet.
- A hulladékban lévő bármilyen nagyméretű, kemény fémtárgy tönkretetheti az aprítógépet.
- A beruházási költségek viszonylag magasak.

¹ K. Owen, K. Leese, L. Hodson, R. Uhorchak, D. Greenwood, D. Van Osdell, and E. Cole. „Control of Aerosol (Biological and Nonbiological) and Chemical Exposures and Safety Hazards in Medical Waste Treatment Facilities.” (A biológiai és nem biológiai aeroszol, vegyszer expozíciók és biztonsági veszélyek kontrollálása az egészségügyi hulladékok ártalmatlanítását végző létesítményekben, Cincinnati, Ohio, National Institute of Occupational Safety and Health [Országos Munkavédelmi és Munkaegészségügyi Intézet], 1997 november).

² Lásd például: J.L. Lauer, D.R. Battles, and D. Vesley, “Decontaminating infectious laboratory waste by autoclaving” (Fertőző laboratóriumi hulladék autoklávozással történő ártalmatlanítása), Appl. Environ. Microbiol., 1982, 44 (3), 690-694; W.A. Rutala, M.M. Stiegeland, and F.A. Sarubbi, Jr., „Decontamination of laboratory microbiological waste by steam sterilization” (Fertőző laboratóriumi mikrobiológiai hulladék gőzsterilizálással történő történő ártalmatlanítása), Appl. Environ. Microbiol., June 1982, 43, 1311-1316. E. Hanel, Jr., “Chemical Disinfection” (Vegyifertőtlenítés), Control of Biohazards in the Research Laboratory, Course Manual, School of Hygiene and Public Health, Johns Hopkins University (A veszélyes biológiai anyagok, organizmusok kezelése a kutatólaboratóriumban, oktatási segédanyag, Higiéniai és Közegészségtani Intézet, Johns Hopkins Egyetem), Baltimore, Maryland, 1981; Herman Koren, Environmental Health and Safety (Környezet-egészségtan és környezeti biztonság), Pergamon Press, NY, 1974.

³ Az “ABB Sanitec Microwave Disinfection System Laboratory Test Results” (Az ABB Sanitec mikrohullámú dezinfekciós rendszer laboratóriumi teszteredményei, Észak-amerikai Laboratóriumi Csoport és Stanford Egyetem) egy, a Sanitec által rendelkezésre bocsátott példánya.

⁴ G.R. Vela and J.F. Wu, Appl. Environ. Microbiol., 37(3), 552, 1979; L. Najdovski, A.Z. Dragas, and V. Kotnik, J. Hosp. Infect. (19), 239, 1991.

Hatodik fejezet

Alacsony hőmérsékletű termikus technológiák – száraz hőn alapuló rendszerek

Az üvegeszközök és többször használatos eszközök sterilizálására a forró levegőt keringető hősterilizátorokban alkalmazott elvet, a száraz hővel történő sterilizálást hasznosítják az egészségügyi hulladékok ártalmatlanításában is. A száraz hőn alapuló eljárásokban a hőt víz és gőz adagolása nélkül alkalmazzák. Ehelyett a hulladékot hővezetéssel, természetes vagy indukált hőáramlással és/vagy hőszugárással hevítik. Az indukált hőáramlásos hevítésnél a földgázzal vagy ellenállásokkal felfűtött levegőt egy kamrában keringetik a hulladék körül. Egyes berendezéseknél a kamra forró falai hővezetéssel vagy természetes hőáramlással hevítik fel a hulladékot. Más technológiák kvarc vagy infravörös hőszugárázókat alkalmaznak. A száraz hőn alapuló technológiák általános jellemzője, hogy a gőzalapú eljárásoknál magasabb hőmérsékletet és rövidebb expozíciós időt igényelnek, de a tényleges hőmérsékleti és időtartam paraméterek a kezelt hulladék elemek tulajdonságaitól és méretétől függenek.

A forró levegőn alapuló rendszerekre két, elsősorban az USA-ban használatos példa (egy a KC MediWaste által forgalmazott, a kórházak számára kifejlesztett technológia) a forró keverőágyas szárító, melyben nagy sebességgel áramoltatott forró levegőt alkalmaznak, illetve a Demolizer (egy kórházi osztályoknak, orvosi rendelőknek és más, kevés hulladékot termelő felhasználóknak szánt kis asztali készülék).

A TECHNOLÓGIA ÁTTEKINTÉSE

A KC MediWaste rendszere a Cox Sterile Products, Inc. erőfeszítéseiből nőtt ki, akik a Torftech (Egyesült Királyság) ásványok, élelmiszerek és hulladékok feldolgozására szolgáló, száraz hőn alapuló Torbed technológiájának adaptálásával egy száraz hőt hasznosító gyors hősterilizátor fejlesztésébe fogtak. A KC MediWaste technológiát elsőként Laredóban (Texas), a Mercy Egészségügyi Centrumban telepítették.

A rendszer lelke egy légmentesen szigetelt rozsdamentes acél kamra, melyben a betöltött hulladékot nagy sebességgel keringetett forró levegővel kezelik, amit a kamra tetejéből fújnak be egy turbinalapátokhoz hasonló kialakítású, kör alakban elrendezett szárnyakon vagy nyílásokon át. A forró levegőt oly módon keringetik, hogy az a hullékdarabokat egy vertikális tengely körüli turbulens pörgésre készíti, így a forró levegő keveredést indukál. Ilyen körülmények között nagyon hatékony hőátadás valósul meg. Négy-hat perc elteltével a felismerhetetlenné vált hulladékot kiürítik, ami ezután egy közönséges lerakóban is elhelyezhető.

MŰKÖDTETÉS

A KC MediWaste üzemeltetése a következő fázisokból áll:

- *Hulladék betöltés:* A vörös zsákos hulladékot egy, a garat légzsilip ajtaját automatikusan nyitó emelő-billentő berendezéshez rögzített kocsikba helyezzük, amely a hulladékot az aprító-garatba üríti, amiben az aeroszol képződés minimalizálása érdekében negatív nyomást alakítunk ki.

- *Belső aprítás:* A hulladékot viszonylag egynemű, 19 mm-es részekre aprítjuk, amit egy cserélhető/állítható szítán szűrünk át és egy kiegyenlítő tartályba gyűjtünk.
- *Adagolás:* A kamrába betöltött hulladék mennyiségét egy üsttolózár szabályozza. Ez a kamra kiürülésekor automatikusan nyit, így egy új töltet feldolgozása kezdődhet. A kamra negatív nyomás alatt üzemel.
- *Száraz hőkezelés:* Miután az aprított hulladékot a kamrába juttattuk, nagy sebességgel keringetett (körülbelül 171 °C-os) forró levegővel kezeljük. A kamra hőmérséklete kezdetben csökken, de nagyjából négy percen belül visszaáll.
- *Kiürítés:* A beprogramozott idő leteltével a kamra billenő ajtajának kinyitásával a hulladék másodpercek alatt kiürül. A kezelt hulladék egy a kamra alatti tömörítő tartályba ömlik.
- *Tömörítés és lerakás:* A száraz, felismerhetetlenné roncsolt hulladékot tömörítjük és higiénikus hulladéklerakókban elhelyezhető zárt tárolóedényekbe töltjük.

KEZELHETŐ HULLADÉKFAJTÁK

A KC MediWaste rendszerekben kezelt hulladékfajták hasonlítanak az autoklávokban és a mikrohullámú berendezésekben ártalmatlanítottakkal, azaz ide tartoznak a tenyészetek és törzsek, éles/hegyes orvosi eszközök, vérrel és kismennyiségű folyadékkal szennyezett anyagok, izolációs és sebészeti hulladékok, laboratóriumi hulladékok (a vegyszerek kivételével), valamint a betegellátásból származó könnyű hulladékok (géz, kötések, szövetek, köpenyek, ágyneműk stb.) Ezentúl folyadékok, így vér és testfolyadékok is ártalmatlaníthatók a berendezéssel. Elegendő idő alatt és megfelelő hőmérsékleten technikailag lehetséges volna a humán anatómiai hulladékok ártalmatlanítása is, de ezt etikai, jogi, kulturális és egyéb megfontolások kizárják.

Illékony vagy félig illékony szerves vegyületek, kemoterápiás hulladékok, higany, egyéb veszélyes vegyi hulladékok és radiológiai hulladékok nem kezelhetők száraz hőn alapuló rendszerekben.

EMISSZIÓK ÉS REZIDUÁLIS HULLADÉK

Az aprító garatból eltávozó gázokat a környezetbe való kibocsátás előtt az aeroszolizált patogénekeket és a szagokat kiszűrő nagy hatásfokú részecskeszűrőn (HEPA filteren) és aktív szén szűrőn bocsátják át. A kamrában lévő forró levegőt Venturi-féle gázmosó berendezésben hűtik, ami a részecskéket is eltávolítja. A berendezés környezetében szagok is megjelennek.

A kamrában uralkodó körülmények égési folyamatot nem generálnak. Ezért amennyiben a hulladékáramok megfelelő elkülönítésével biztosítjuk, hogy veszélyes vegyszerek ne juthassanak a kamrába, a levegő emissziók minimálisak.

A reziduális hulladék száraz és felismerhetetlen. Aprítással és tömörítéssel a hulladék térfogata megközelítőleg 80 százalékkal csökkenthető és egy közönséges hulladéklerakóban is elhelyezhető. Az ártalmatlanított száraz hulladék tömege az eredeti hulladék nedvességtartamával csökken.

MIKROBIÁLIS INAKTIVÁLÁS

A kamrába behelyezett *B. subtilis var. niger* (a hőrezisztencia tesztelésére tradicionálisan

alkalmazott variáns) csíkokkal végzett mikrobiológiai tesztekkel 6 log₁₀ arányú sejtpusztulást mutattak ki kb. 3 perc alatt.¹

A TECHNOLOGIA ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI

A forró levegőn alapuló technológia előnyei:

- A kamra kialakítása egyszerű ('pattogatott kukorica' készítőhöz hasonlítható). Magát a Torbedet más alkalmazási területeken évek óta használják.
- Ha a kellő odafigyeléssel kizárjuk a veszélyes anyagok betöltését, a száraz hőn alapuló berendezésekből származó emissziók minimálisak.
- A technológiával különböző nedvességtartalmú hulladékok, így vér és testnedvek is ártalmatlaníthatók.
- Nem keletkezik elfolyó folyadék.
- A belső aprítógép és az ártalmatlanítást követő tömörítés a hulladék térfogatát akár 80 százalékkal is csökkentheti.
- A technológia automatizált, könnyen üzemeltethető és csak egy gépkezelőt igényel.
- A HEPA filter, a szénzsűrő és a Venturi-féle gázmosó berendezés együttesen a minimálisra csökkentik a szagképződést.
- Az ártalmatlanított hulladék száraz, felismerhetetlen és kompakt.

Hátrányai:

- Amennyiben a hulladék veszélyes vegyszereket tartalmaz, ezek a toxikus szennyeződések a levegőbe vagy a lerakót szennyező reziduális hulladékba is bekerülnek.
- A tömörítő körül enyhe szagképződés lehetséges.
- A hulladékban lévő bármilyen nagyméretű, kemény fémtárgy tönkretetheti az aprítógépet.
- A KC MediWaste Processor egy viszonylag új technológia.

¹ A KC MediWaste által rendelkezésre bocsátott adatok.

Hetedik fejezet

Vegyi alapú technológiák

A múltban az egészségügyi hulladékok kezelésére alkalmazott fertőtlenítő vegyszerek klór alapúak voltak, mivel a klórral és a hipoklorittal sokféle mikroorganizmus inaktíválható. Elterjedt volt a hipoklorit oldatok (a hipó) használata. Az utóbbi években azonban aggodalmat keltettek a (cellulózipar és a papíripar) nagymértékű klór és hipoklorit felhasználása során kis mennyiségben keletkező toxikus melléktermékek. Úgy tűnik, eddig nem végeztek vizsgálatokat annak tisztázására, hogy ez a probléma jelentkezik-e az egészségügyi hulladékok vegyi ártalmatlanítása nyomán. Mindenesetre feltételezik, hogy a klór/hipoklorit és a szerves anyagok reakciójában trihalometánok, haloecetsavak és toxikus klórozott aromás vegyületek képződnek.

Az egészségügyi intézményekben általánosan használt fertőtlenítőszer, a nátrium-hipoklorit (NaOCl) előállításánál klórt reagáltatnak nátrium hidroxiddal és vízzel. A háztartási hipó 3-6 százalékos hipoklorit oldat. Hatásosan inaktíválja a baktériumokat, gombákat, vírusokat és szagtalanít. Széleskörűen alkalmazzák az ivóvíz, az uszodák vizének fertőtlenítésére és a szennyvíz kezelésére. Nem meglepő, hogy a hipoklorit volt az egyik első olyan fertőtlenítő vegyszer, melyet egészségügyi hulladékok ártalmatlanítására alkalmaztak.

A közelmúltban a klórmentes fertőtlenítőszer, például a peroxi-ecetsav (másként perecetsav), a glutáraldehid, a nátrium hidroxid, az ózon gáz és a kalcium-hidroxid is megjelentek a piacon, néhányukat széleskörűen alkalmazzák orvosi eszközök fertőtlenítésére.

A **kalcium-oxid**, vagy mész a mészkő hevítésével előállított fehér vagy szürke szagtalan por. Számítalan felhasználási területe létezik, alkalmazzák gyógyszerekben, vízlágyítóként, cementben, az üvegyártásban, a cukor tisztításában és a talajkezelésben. Vízzel való reakciójában kalcium-hidroxid képződik, ami irritációt okozhat a szemben és a felső légutakban. Az USA Országos Munkavédelmi és Munkaegészségügyi Intézete (NIOSH) által javasolt expozíciós határérték 2 mg/m^3 .

Az **ózon** a szokásos kettő (O_2) helyett három oxigénatomot (O_3) tartalmazó oxidálószer. Ózon nyomokban keletkezik a napsugárzás és a villámlások hatására. A szmog egyik összetevője, és védőréteget alkot a Föld körül. Mivel erősen reakcióképes, könnyedén visszaalakul stabilabb, kétatomos oxigénné (O_2). Az ózont alkalmazzák az ivóvíztisztításban, az ipari és települési szennyvizek kezelésében, szagtalanításban, a levegőtisztításban, a mezőgazdaságban és az élelmiszer feldolgozásban. Az ózon irritációt okozhat a szemben, az orrban és a légutakban. Az USA Országos Munkavédelmi és Munkaegészségügyi Intézetének (NIOSH) javaslata szerint a munkahelyi légtér ózonkoncentrációja legfeljebb 1,1 ppm lehet.

Az **alkáliák** vagy **lúgok**, mint például a nátrium vagy magnézium-hidroxid erős maró hatással rendelkeznek. Használják vegyszerek előállítására, a pH szabályozására, szappangyártásra, tisztítószerekben, a textílfeldolgozásban és számos más területen. A szilárd lúg szemcsék vízzel hőképződés mellett erős reakciót adnak. Különböző vegyszerekkel, például fémekkel érintkezve tüzet gerjeszhetnek. A tömény lúgoldatok erősen maró hatásuk révén maradósérteket, vakságot vagy akár halált is okozhatnak. Az USA Országos Munkavédelmi és Munkaegészségügyi Intézete (NIOSH) által javasolt expozíciós határérték 2 mg/m^3 .

KEZELHETŐ HULLADÉKFAJTÁK

A vegyi alapú technológiákkal széleskörűen kezelhető hulladékfajták: a tenyészetek és törzsek, az éles/hegyes orvosi eszközök, folyékony emberi és állati hulladékok, köztük a vér és a testnedvek (egyes technológiákban ezek aránya kötött, legfeljebb a hulladék bizonyos százaléka lehet), izolációs és sebészeti hulladékok, laboratóriumi hulladékok (a vegyszerek kivételével) valamint a betegellátásból származó textil hulladékok, géz, kötések, textil anyagok, köpenyek, ágyneműk stb.

Az etikai, jogi, kulturális és egyéb megfontolások miatt a humán autonómiai hulladékok vegyi alapú rendszerekkel nem ártalmatlaníthatók.

Illékony és félig illékony szerves vegyületek, kemoterápiás hulladékok, higany, egyéb veszélyes vegyi hulladékok és radiológiai hulladékok vegyi alapú ártalmatlanító berendezésekben nem kezelhetők. Nagyméretű fémtárgyak károsíthatják a belső aprítógépet.

EMISSZIÓK ÉS REZIDUÁLIS HULLADÉK

Mivel a vegyi eljárások rendszerint megkövetelik a hulladék aprítását, a patogének aeroszol képződéssel megvalósuló kibocsátásától lehet tartani. A vegyi alapú technológiák közös vonása, hogy azokat zárt rendszerként vagy negatív nyomás alatt működtetik, a távozó levegőt HEPA vagy egyéb szűrőn vezetik át. Ezeket a biztonsági előírásokat be kell tartani. Egy másik kérdés magával a fertőtlenítő vegyszerrel való munkahelyi érintkezés, az elillanó, a tároló tartályokból vagy az ártalmatlanító berendezés kamrájából a kiürítéskor elszivárgó vagy kiömlő fertőtlenítőszer vagy az ártalmatlanított hulladékból elszivárgó folyadékból elpárolgó vegyszerek stb. következtében fellépő expozíció. A fertőtlenítőszereket esetenként koncentrált formában tárolják, ami így a veszélyeket, kockázatokat növeli.

MIKROBIÁLIS INAKTIVÁLÁS

A különböző mikroorganizmusok változó mértékben állnak ellen a vegyi ártalmatlanításnak. A vegetatív baktériumok, vegetatív gombák, gombaspórák és a lipofil vírusok a legkevésbé ellenállóak. Nagyobb ellenálló képességgel rendelkeznek a hidrofil vírusok, a mycobaktériumok, és a baktériumspórák, például a *B. stearothermophilus* spórái. Mikrobiális tesztek elvégzésével szükséges igazolni, hogy a mikrobiális inaktiválás hatékonysága a technológia normál üzemeltetési körülményei, az alkalmazott vegyszer koncentrációk és ártalmatlanítási paraméterek mellett a *B. stearothermophilus* spóráin legalább a 10^4 sejtpusztítási mértéket eléri.

A TECHNOLÓGIA ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI

A vegyi alapú ártalmatlanítási technológiák előnyei a következők:

- A nátrium-hipokloritot alkalmazó technológiák a 80-as évek elejéig nyúlnak vissza és jól dokumentáltak. Az eljárás alapelve jól ismert.
- A technológiák nagymértékben automatizáltak és könnyen alkalmazhatók.
- Az eltávozó folyadékok rendszerint a higiénikus csatornarendszerbe üríthetők.

- Nem képződnek égési melléktermékek.
- Amennyiben a technológia aprítást is magában foglal, a hulladék felismerhetetlenné roncsolódik.

A hátrányok:

- A nagy kapacitású klór illetve hipoklorit alapú eljárásokat illetően a szennyvízben esetleg megjelenő toxikus melléktermékekkel kapcsolatos aggodalmak merülnek fel.
- A vegyi alapú eljárásoknál potenciális problémaként jelentkezhetnek a vegyi veszélyek.
- Amennyiben a hulladék veszélyes vegyszereket tartalmaz, ezek a toxikus szennyezőanyagok a levegőbe vagy a szennyvízbe kerülnek vagy a lerakót ily módon szennyező hulladékban maradnak, vagy veszélyes vagy nem veszélyes vegyületek képződése mellett reagálhatnak a fertőtlenítőszerrel.
- Nagyon magasak lehetnek a törőkalapácsoktól vagy aprítógépekből eredő zajszintek.
- Egyes vegyi alapú rendszerek környezetében kellemetlen szagok keletkezhetnek.
- A hulladékban lévő bármilyen nagyméretű kemény fémtárgy tönkretetheti a mechanikai berendezéseket, például az aprítógépet.

MÁS RENDSZEREK

Ez a jelentés nem tér ki az olyan vegyületeket hasznosító technológiákra, amelyeket nem a fertőtlenítő képességük, hanem a hulladékot megszilárdító vagy betokosító (kapszuláló) képességük miatt alkalmaznak. Egyes betokosító szerek, így a gyorsan ható akril- vagy epoxi-alapú polimerek a hulladékot fertőtlenítő antimikrobiális szereket tartalmaznak. Többről állítják, hogy nem toxikusak és a biológiailag veszélyes folyadékokat nem veszélyes anyagokká alakítják.

Az ezen technológiák iránt érdeklődő egészségügyi intézményeknek kérniük kell a mikrobiális inaktiválás hatékonyságára, a toxicitásra, a munkahelyi expozícióra stb. vonatkozó teszteket, hogy megbizonyosodjanak arról, hogy a szilárd fázisba alakított hulladék az állításoknak megfelelően ténylegesen nem fertőző és nem veszélyes. Mivel a folyadék fázisú egészségügyi hulladékokban lévő szerves anyagok csökkenthetik az anti-mikrobiális szerek hatásfokát, a dezinfekciós teszteket a 100 %-os szérum termékcímkén jelölt hígításával kell elvégezni. Az érdeklődő létesítményeknek arról is meg kell bizonyosodniuk, hogy maguk a szilárdító vagy fertőtlenítőszeres veszélyes anyagnak számítanak-e és hogy az alkalmazásukkal keletkező bevont, betokosított hulladék elhelyezhető-e egy lerakóban. Noha az ilyen hulladék 'ártalmatlanított' tekinthető, még továbbra is rendelkezhet fertőző tulajdonságokkal, ami miatt az Európai Unió jogi rendelkezései (99/31/EK) szerint nem helyezhető el lerakókban.

Besugárzás alapú, biológiai és egyéb technológiák

Ebben a fejezetben olyan technológiákat tárgyalunk, melyek besugárzáson vagy biológiai eljárásokon alapulnak. A besugárzásos technológia ismertetésében az elektronsugárzásra épülő rendszerekre koncentrálunk. Nagyon kevés, az egészségügyi hulladékok ártalmatlanítására kifejlesztett biológiai eljárás áll rendelkezésre, mivel az ilyen jellegű technológiák még ma is kutatás és fejlesztés alatt állnak. Mivel az injekciós tűk és fecskendők okozta munkahelyi sérülések az egészségügyi intézményekben problémát jelentenek, a fejezet végén a hulladékban megjelenő éles/hegyes orvosi eszközök ártalmatlanítására szolgáló technológiákat ismertetjük. Ez utóbbi technológiák termikus vagy vegyi ártalmatlanításra épülő kisméretű, hordozható berendezések.

Besugárzáson alapuló technológiák

A TECHNOLÓGIA ÁTTEKINTÉSE

Ionizáló sugárzásnak nevezzük az olyan nagyenergiájú elektromágneses sugárzást, ami képes a elektronokat atompályájukról eltávolítani; ilyenek a röntgensugarak és a gamma sugarak. (A **nem ionizáló sugárzás**, például a mikrohullámú sugarak vagy a látható fény nem rendelkeznek az elektronok eltávolításához elegendő energiával.) Amennyiben a sejtet ionizáló sugárzás éri, annak fő célpontja a sejtmagban lévő DNS. Elegendően nagy dózisu ionizáló sugárzás esetén a DNS-ben okozott károsodások sejtpusztuláshoz vezetnek. Az ionizáló sugárzás hatására úgynevezett szabadgyökök is keletkeznek, amik a sejt makromolekuláival (például a fehérjékkel, enzimekkel stb.) reagálva további sejtkárosodást okoznak. Ionizáló sugárzás radioaktív anyagokkal, például nagysebességű gamma sugarakat kibocsátó kobalt-60 izotóppal kelthető. A sejteket megfelelő körülmények között elpusztítani képes másfajta ionizáló sugárzás az UV-C, azaz a (253,7 nm hullámhosszú) ultraibolya C sugárzás, ami germicid vagy alacsony hullámhosszú UV sugárzásként is ismert. UV-C sugárzás speciális lámpákkal kelthető, az alternatív ártalmatlanítási technológiák kiegészítéseként az aprítógépekből és más mechanikai berendezésekből aeroszol formában kikerülő patogének inaktiválására alkalmazzák.

Egy másik, ionizált sugárzást keltő technika az 'elektronágyúk' használata, melyből egy nagy sebességű, nagy energiájú elektronsugár irányítható a célobjektumra. Az elektronsugaras technológiák a nukleáris és a hadiipari fejlesztések eredményeként néhány évtizede jelentek meg. Más alkalmazásokban, így a polimerek feldolgozásában, a gumiabroncs-gyártásban és a gyógyászati termékek sterilizálásában is hasznosítják. A kobalt-60-nal szemben az elektronsugaras technológiában nincs szükség radioaktív forrásra és a berendezés kikapcsolása után nem keletkezik maradvány sugárzás. Ugyanakkor az indukált radioaktivitás egy vitatott kérdés. Az elektronsugaras berendezések gyártói azzal érvelnek, hogy radioaktivitás csak nagyon nagy, 10 illetve 16 MeV (mega-elektronvolt) feletti energiák alkalmazásával indukálható. Mások azt állítják, hogy alacsony szintű radioaktivitás sokkal kisebb energiákkal is kelthető. Ez az érvelés az élelmiszerek elektronsugaras technológiával való besugárzása körül a nyilvánosságban kialakult vitákkal összefüggésben merült fel.

MŰKÖDTETÉS

Az elektronsugárzáson alapuló technológiák nagymértékben automatizáltak és számítógépes vezérléssel üzemelnek. Egy elektronsugaras rendszer részei egy elektromos tápforrás, az elektron-

gyorsító, ahol az elektronok generálása, gyorsítása és a célobjektumra való irányítása folyik; egy szkennelő rendszer, ami a szükséges dózist biztosítja; egy a gyorsítót és más alkatrészeket hűtő rendszer; a gyorsítóban vákuumot előállító vákuum rendszer; a személyzetet védő árnyékoló, a hulladékot mozgó szállító rendszer; érzékelők és vezérlők. Az árnyékoló rendszer egy beton boltívből, egy föld alatti üregből és az ártalmatlanítási területet körülvevő beépített árnyékoló pajzsból állhat. Az elektronsugarak nem változtatják meg a hulladék fizikai paramétereit, talán a hőmérsékletét növelik meg néhány fokkal. Ezért az elektronsugár technológiát a hulladék felismerhetetlenné roncsolása és térfogatának csökkentése végett aprítógéppel vagy más mechanikai berendezéssel kell kiegészíteni.

KEZELHETŐ HULLADÉKTÍPUSOK

Egy mechanikai roncsoló eljárással ellátott elektronsugaras technológiával ártalmatlanítható hulladéktípusok: a tenyészetek és törzsek, éles/hegyes orvosi eszközök, vérrel és testfolyadékkal szennyezett anyagok, izolációs és sebészeti hulladékok, laboratóriumi hulladékok (a vegyszerek kivételével), valamint a betegellátásból származó könnyű hulladékok (géz, kötések, szövetek, köpenyek, ágyneműk stb.) Elegendő idő alatt és megfelelő hőmérsékleten, valamint a hulladékot felismerhetetlenné roncsoló mechanikai rendszerekkel technikailag lehetséges volna a humán anatómiai hulladékok ártalmatlanítása is, de ezt etikai, jogi, kulturális és egyéb megfontolások kizárják.

Illékony vagy félig illékony szerves vegyületek, kemoterápiás hulladékok, higany, egyéb veszélyes vegyi hulladékok és radiológiai hulladékok nem kezelhetők az elektronsugárzáson alapuló rendszerekben.

EMISSZIÓK ÉS REZIDUÁLIS HULLADÉK

Az elektronsugárzáson alapuló rendszerek az esetleg kis mennyiségben képződő és kétatomos oxigénné lebomló ózonon kívül semmilyen szennyező emissziót nem generálnak. A maradvány ózon segít kiküszöbölni a szagokat és hozzájárul a fertőtlenítési folyamathoz a kezelőtérben, a kamrában, de még mielőtt a környezetbe vagy a munkahelyi légtérbe kibocsátanák, vissza kell alakulnia kétatomos oxigénné.

MIKROBIÁLIS INAKTIVÁLÁS

A baktériumok különböző mértékben ellenállóak a sugárzással szemben, ez döntően attól függ, képesek-e a sugárzás által okozott DNS károsodásokat kijavítani. A dózistól függően a baktériumsejtek esetleg nem pusztulnak el azonnal, csak a szaporodási képességük csökken. A sugárzással kiváltott mikrobiális inaktiválás igazolására a *B. stearothermophilus* és a *B. subtilis* spóráinak tesztelését ajánlják. A *B. pumilis* spórái azonban sugárzással szemben ellenállóbbak, ezért a gyógyászati termékek sterilizálásánál ezeket alkalmazzák sztenderd biológiai indikátorként. A sugárzással szemben még inkább ellenálló biológiai indikátorok, például a *Deinococcus radiodurans* nagyon meggyőző eszközök lehetnek és szükség esetén az üzemeltetésben biztonsági tartalékot garantálhatnak.

A TECHNOLÓGIA ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI

Az elektronsugárzáson alapuló technológiák előnyei az alábbiak:

- A daganatterápiát végző kórházi személyzet számára ismerős alaptermotechnológiát más alkalmazási területeken már két évtizede használják.
- Az elektronsugárzáson alapuló technológia (a kis mennyiségben képződő ózonon kívül) semmilyen toxikus emissziót nem generál, eltávozó folyadék nem keletkezik.
- A kobalt-60-nal szemben az elektronsugaras technológiában a berendezés kikapcsolása után nem keletkezik ionizáló sugárzás.
- Az eljárás szobahőmérsékleten megy végbe, és semmit sem kell a hulladékhoz adni, nincs szükség gőzre, vízre, hőre, forró levegőre stb.
- A technológia nagymértékben automatizált és kevés gépkezelési időt igényel.
- Maga az elektronsugaras technológia (az aprító vagy tömörítőgépek nélkül) zajmentes.
- Működtetési költségei alacsonyak.

A hátrányok:

- A személyzetet meg kell óvni a sugárzástól, az expozíciótól.
- Ha a rendszer nem tartalmaz beépített árnyékolást, az elektronsugaras rendszer megköveteli néhány lábnyi vastagságú beton árnyékoló fal vagy egy föld alatti építmény kialakítását, ezek bármelyike jelentősen megnöveli a beszerelés beruházási költségeit.
- A kimenő gázból az ózont el kell távolítani, mielőtt a rendszerből a gázokat a légkörbe eresztenék.
- Az élelmiszerek besugárzásával kapcsolatban néhány csoport felvetette annak lehetőségét, hogy az alacsony aktivitású radioaktív sugárzást generál. Erre vonatkozóan további kutatásokat kell végezni.
- Az alaptermotechnológia nem csökkenti a hulladék térfogatát és nem roncsolja felismerhetetlenné a hulladékot, hacsak az ártalmatlanítást követő lépésként nem egészítik ki egy aprítógéppel vagy más mechanikai berendezéssel.
- A hulladékban lévő bármilyen nagyméretű kemény fémtárgy károsíthatja, tönkretelheti az aprító- vagy őrlőgépet.

A **Miami Egyetem Szennyezés-csökkentő Technológiai Laboratóriuma**¹ és az egyetem Jackson Memorial Egészségügyi Központja az egészségügyi hulladékok ártalmatlanítására együttesen kifejlesztettek egy nagyenergiájú elektronsugárral működő berendezést, ami óránként 180 kg egészségügyi hulladékot képes ártalmatlanítani és a sugárvédelmi boltozatot, a vezérlőhelyet és a hulladékot befogadó részt is beleértve 0,19 m² területet foglal el.

Biológiai rendszerek

A **Bio Conversion Technologies Inc.**² (BCTI), a Biomedical Disposal, Inc. egy részlege egy biológiai eljárásokat alkalmazó egészségügyi hulladék ártalmatlanító rendszer fejlesztésén dolgozik. A „Bio-Converter” prototípusát Virginiában tesztelték. Ebben egy enzimkeverékkel ártalmatlanítják az egészségügyi hulladékot, a keletkező iszapból egy extrúderrel távolítják el a szennyvízcsatorna rendszerbe engedhető vizet. A technológia nagy kapacitással üzemeltethető (10 tonna/nap) és fejlesztés alatt áll a mezőgazdasági szektorban állati hulladékok lebontására való alkalmazása.

Az éles/hegyes orvosi eszközök ártalmatlanítására szolgáló kisméretű berendezések

Az injekciós tűk, fecskendők és más éles/hegyes orvosi eszközök által okozott munkahelyi sérülések minden egészségügyi szolgáltatónál problémát jelentenek. Becslések szerint 600-800 ezer nővér, orvos és más egészségügyi dolgozó szenved el tűszúrásos vagy más, éles orvosi eszköztől eredő bőr (perkután) sérülést. Nem okoz minden egyes sérülés fertőzést, de a vérrrel terjedő betegségek szennyezett tűvel illetve más éles orvosi eszközzel való átvitelének lehetősége mindig fennáll. Különösen három betegség, a Hepatitis C vírus (HCV), a Hepatitis B vírus (HBV) és a humán immunodeficiencia vírus (HIV) kelt aggodalmat. A legtöbb ilyen sérülés biztonságosabb eszközök, például tűmentes rendszerek, visszahúzható tűvel ellátott eszközök vagy a beépített védőfunkciókkal ellátott úgynevezett biztonságos tű rendszerek használatával megelőzhető.

A tűszúrások kockázata azzal is csökkenthető, ha a használt tűk ártalmatlanítására szolgáló technológiákat a felhasználási helyük közvetlen közelébe telepítjük.

¹ Az egyetem Szennyezés-csökkentő Technológiai Laboratóriuma által közölt műszaki adatok, újságkivágások, Dean Brown által rendelkezésre bocsátott adatok, a berendezés helyszíni értékelése a Miami Egyetemen – Coral Gables, valamint a Thomas Waittel és Charles Kuruczzal folytatott személyes beszélgetések alapján.

² A Michael Chelettetevel 1999-ben folytatott személyes beszélgetés és a tőle kapott anyagok alapján.

Egy nem égetéses technológia kiválasztása során megfontolandó szempontok

Több helyszín-specifikus tényező függvénye, hogy egy adott létesítmény számára melyik technológia vagy technológia-együttes tekinthető a legalkalmasabbnak. Ilyen a termelt hulladék mennyisége és összetétele, a rendelkezésre álló hely, a hatósági engedélyezés, a társadalmi egyetértés és a költségek. Néhány kulcsfontosságú tényezőt sorolunk fel a 9-1. táblázatban és tárgyalunk meg ebben a fejezetben.

9-1. táblázat. A technológia kiválasztása során megfontolandó szempontok

Átbocsátó képesség

Ártalmatlanítandó hulladékfajták

Mikrobiális inaktiválás határfoka

Környezeti emissziók és reziduális hulladék

Hatósági engedélyezés

Helyigény

Közmű és egyéb telepítési követelmények

Hulladék térfogatának és tömegének csökkentése

Munkavédelmi és munkaegészségügyi vonatkozások

Zaj és szagok

Automatizáltság

Megbízhatóság

Kereskedelmi bevezetés foka

A technológia gyártói/forgalmazói háttere

Költségek

Elfogadás a lakosság és a személyzet részéről

ÁTBOCSÁTÁSI KAPACITÁS

Csak miután meghatározták, milyen mértékű a hulladéktermelés a különböző hulladékáramokban és bevezettek egy szigorú hulladék minimalizálási programot, dönthet az egészségügyi intézmény

arról, melyik nem égetéssel technológia a megfelelő választás a keletkező hulladékfajták és hulladékmennyiség ártalmatlanítására. Az átbocsátási kapacitás és a hulladéktermelés mértékének összevetése során az intézménynek számolnia kell a jövőben várható növekedéssel és a hulladéktermelésben bekövetkező változásokkal.

ÁRTALMATLANÍTANDÓ HULLADÉKFAJTÁK

Rendszerint a gyártók ajánlásait követve, széles kategóriákkal írják le, hogy egy adott technológia milyen típusú hulladékok ártalmatlanítására képes. Miután meghatározták, mi kerüljön a vörös zsákba (azaz mik tekintendők fertőző hulladéknak), az intézményeknek meg kell bizonyosodniuk arról, hogy a kiválasztott technológia a mechanikai roncsolás, a mikrobiális inaktiválás, az emissziók, a hatósági engedélyezés és a munkavédelmi előírások szemszögéből nézve is valóban alkalmas mindegyik hulladékfajta ártalmatlanítására.

Monitoring eszközök, például alacsony aktivitású radioaktivitást detektáló műszerek használata segíthet abban, hogy a speciális hulladékokat kizárjuk. Egyes forgalmazók a technológiához olyan monitoring eszközöket kínálnak, amelyekkel a nem kívánt anyagok a bemeneti hulladékaramból kiszűrhetők. Mások úgy fejlesztik a berendezéseiket, hogy azokhoz az ilyen monitoring eszközök illeszthetők legyenek.

MIKROBIÁLIS INAKTIVÁLÁS HATÁSFOKA

Az ártalmatlanítási technológiák fő célja a patogének elölésével a hulladék fertőtlenítése. Az intézményeknek meg kell bizonyosodniuk arról, hogy a technológia teljesíteni képes a fertőtlenítéshez az illető államban megkövetelt kritériumokat. Sok országban az alternatív technológiák engedélyezését a mikrobiális inaktiválás hatásfokához kötik. Egy állami szabályozó hatósági intézményekből az USA-ban létrejött konzorcium, az Alternatív Ártalmatlanítási Technológiák Állami és Területi Szövetsége (State and Territorial Association on Alternative Treatment Technologies: STAATT) 1994-ben és 1999-ben tartott tanácskozásain alakította ki az egészségügyi hulladék ártalmatlanítás hatékonyságának konszenzus kritériumait. A mikrobiális inaktiválás fokozataira vonatkozóan az első STAATT tanácskozáson az alábbi definíciókat fogalmazták meg:

- I. fokozat** A vegetatív baktériumok, gombák és lipofil vírusok legalább 6 log₁₀ mértékű egyedszám csökkenéssel járó inaktiválása;
- II. fokozat** A vegetatív baktériumok, gombák, lipofil/hidrofil vírusok, paraziták és mycobaktériumok legalább 6 log₁₀ mértékű egyedszám csökkenéssel járó inaktiválása;
- III. fokozat*** A vegetatív baktériumok, gombák, lipofil/hidrofil vírusok, paraziták és mycobaktériumok legalább 6 log₁₀ mértékű egyedszám csökkenéssel járó inaktiválása; és a *B. stearothermophilus* valamint *B. subtilis* spórák legalább 4 log₁₀ mértékű egyedszám csökkenéssel járó inaktiválása;
- IV. fokozat** A vegetatív baktériumok, gombák, lipofil/hidrofil vírusok, paraziták és mycobaktériumok, valamint a *B. stearothermophilus* spóráinak legalább 6 log₁₀ mértékű egyedszám csökkenéssel járó inaktiválása;

* A III. fokozat az STAATT által javasolt minimális kritérium.

A $6 \log_{10}$ mértékű egyedszám csökkenés (vagy 10^6 mértékű sejtpusztítás) egy mikroorganizmus populációban az ártalmatlanítási folyamat következtében egymilliomodnyi túlélési valószínűséggel vagy az adott mikroorganizmus egyedszámának 99,9999 százalékos csökkenésével egyenértékű. A fenti mikroorganizmusokat reprezentáló, kiválasztott patogéneket alkalmazzák a teszteléshez. Az STAATT második tanácskozásán a következő reprezentatív biológiai indikátorok alkalmazását ajánlották* (Az „ATCC” az USA-beli Sejttenyésztés és Mikroorganizmus Gyűjteményre utal).

KÖRNYEZETI EMISSZIÓK ÉS REZIDUÁLIS HULLADÉK

A létesítményeknek az összes lehetséges környezeti közegbe – a munkahelyi légtérbe, a külső légtérbe, a reziduális hulladékba, a szennyvízbe, illetve a lerakóban – történő kibocsátást is tekintetbe kell venniük (az illékony emissziót is beleértve), és a legkisebb környezeti terheléssel járó technológiát kell kiválasztaniuk. Az intézmények az állami hatóságoktól szerezhetnek be adatokat arról, hogy a technológia más felhasználói a múltban túllépték-e az engedélyezett határértékeket.

(A fordító megjegyzése: A hivatkozott biológiai indikátorok felsorolása az eredeti angol szövegből hiányzik.)*

Tizedik fejezet

Az ártalmatlanítási technológiák gazdasági vonatkozásai

BERUHÁZÁSI KÖLTSÉGEK

A beruházások összköltségének tartalmaznia kell az elhelyezéssel és a beszereléssel kapcsolatban felmerülő összes közvetlen és indirekt költséget valamint a berendezés vételárát. Egyes technológiák kevés helyszíni előkészítést igényelnek és beszerelésük sem munkaigényes, míg más technológiák telepítéséhez sok követelménynek kell eleget tenni. A következő felsorolás a számításba veendő közvetlen költségeket tartalmazza. Előfordulhat, hogy egy adott technológia kapcsán a felsoroltak közül egyes tételek nem merülnek fel.

- Helyszín előkészítése, kialakítása
- Bontás és ártalmatlanítás (például egy régi égetőmű felszámolása)
- Építés (új építkezés vagy felújítás)
- Alapozás és alátámasztás
- Elektromos tápellátás
- Csővezetékek, gőz és vízvezeték csövek
- Fűtő és szellőztető rendszer
- Légekompreszor
- Világítás
- Higiénikus csatorna
- Tűzoltó rendszer
- Festés és szigetelés
- Anyagmozgatás és helyszíni szerelés
- A berendezés vételára (beleértve a járulékos eszközöket, a műszerezettséget, a hulladékszállítására szolgáló kocsikat, a monitoring eszközöket, a szállítási díjat, forgalmi adót stb.).

Néhány példa a számításba veendő indirekt költségekre:

- Projekt menedzsment
- Tervezés

- Építési kivitelezői költségek
- Engedélyeztetés
- Hatósági tesztelés
- Szakmai, szakértői költségek (ideértve a tiltakozásokra reagáló média megjelenés költségeit, amennyiben a lakosság nem fogadja el a választott technológiát)
- Beüzemelés
- Tesztüzem, teljesítménytesztelés
- Előre nem látható kiadások

Léteznek nem tárgyasítható költségek is, például a jó társadalmi megítélés elvesztésével járó nem számszerűsítható kiadások abban az esetben, ha a választott technológia nem nyeri el a lakosság vagy a személyzet tetszését.

ÉVES ÜZEMELTETÉSI KÖLTSÉGEK

Az éves üzemeltetési költségek azok a kiadások, melyek a technológia üzemeltetése kapcsán a berendezés teljes élettartama alatt évről évre jelentkeznek. Az infláció következtében ezen kiadások mértéke változhat, de mindig azonos jellegű költségek merülnek fel. A közvetlen költségek olyan kiadások, melyek a rendszer átbocsátóképességétől függenek, ilyenek a:

- Munkabérek (gépkézeltőké és munkavezetőé)
- Közművek
 - Elektromos áram
 - Gőz
 - Földgáz
 - Víz
 - Sűrített levegő
 - Egyebek
- Készletek
 - Dobozok vagy konténerek
 - Autoklávozható vagy gőz számára átjárható zsákok
 - Címkék

- Egyebek
- Fogyóeszközök
 - Fertőtlenítő vegyszerek
 - Elektródák vagy izzók
 - Egyebek
- Karbantartás (tervezett vagy rendkívüli)
 - Anyagok
 - Alkatrészek (pl. tűzálló anyagok, aprítókések stb.)
 - Karbantartási munkadíj
- Hulladéklerakási költségek (beleértve a szállítási és lerakási díjat)
- A technológiával nem ártalmatlanított hulladékok ártalmatlanítási költségei
- A hulladék ártalmatlanítás költségei a tervezett vagy rendkívüli leállások alatt

Az átbocsátási kapacitással nem arányos, indirekt költségek a következők:

- Rezsiköltség
- Adminisztrációs költségek
- Biztosítás
- Évenkénti hatósági engedélyeztetési költségek
- Periodikus hitelesítések vagy emissziós tesztek
- Adók.

AZ ÉGETŐMŰVEK KORSZERŰSÍTÉSÉNEK KÖLTSÉGEI

Az égetőműveket illetően az első fejezetben felvetett környezeti, egészségügyi és egyéb nem tárgyasítható vonatkozások mellett a költségek is fontos, megfontolandó tényezőnek tekinthetők. Ahhoz, hogy egy régi, működő égetőmű teljesíteni tudja az egészségügyi hulladékegetőkre vonatkozó új EU szabályozás előírásait, valószínűleg üzembe kell állítani egy drága szennyezés csökkentő berendezést, modernizálni kell a másodlagos kamrát, monitoring eszközöket kell felszerelni, további kiadásokat jelentenek a kéményben végzett periodikus tesztelések az üzemeltető, gépkezelő személyzet képzése stb. Így a beruházási költségek magukban foglalják:

- Egy nedves gázmosó vagy másfajta tisztító berendezés beszerzését és beszerelését.

- A másodlagos kamra modernizálását.
- Monitoring eszközök beszerzését és beszerelését.

Az éves üzemeltetési költségek összetevői:

- A nedves gázmosó vagy más tisztítóberendezés éves üzemeltetési költségei
- A kéményben elvégzett tesztvizsgálatok éves költségei
- A paraméterek monitorozásának éves költségei
- Az üzemeltető személyzet képzésének éves költségei.