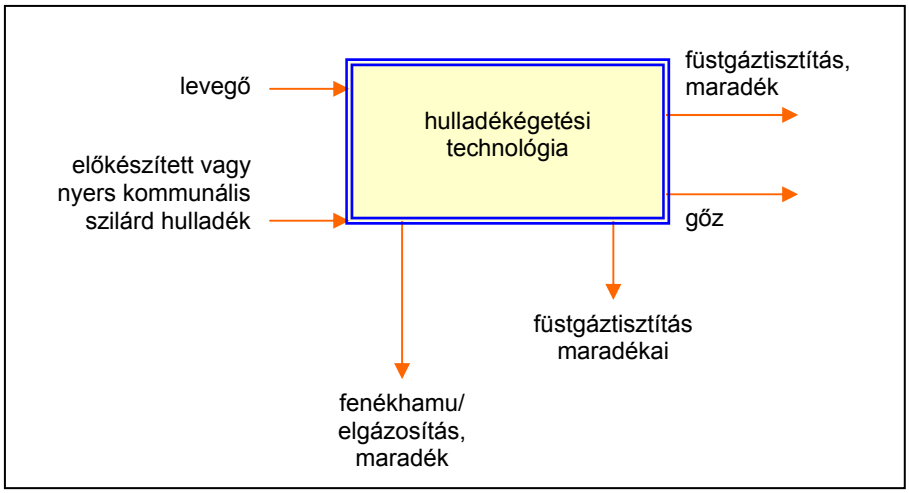
A HULLADÉKHASZNOSÍTÁS ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

1.1 A kommunális hulladékok elégetésének előnyei és a módszer helye a környezetkímélő hulladékgazdálkodásban

Tárgyszavak: Egyesült Királyság; elemzés; hulladékégetés; hulladékgazdálkodás; hulladékhasznosítás; kommunális hulladék.

Bevezetés

Az alábbi tanulmány azokkal az összefüggésekkel és kulcsparaméterekkel foglalkozik, amelyeket a hulladék energetikai hasznosítására vonatkozó (vagy azt elvető) döntések előtt feltétlenül elemezni kell, illetve célja még annak bizonyítása, hogy a hulladékégetés messze nem olyan környezetszennyező eljárás, mint azt sokan állítják, és részben ezért, részben egyéb előnyei miatt fontos szerepet kellene betöltenie a hulladékgazdálkodás és ártalmatlanítás rendszerében.



1. ábra A hulladékégetés egyszerűsített ábrája

A hulladék energetikai hasznosításának vázlata látható az *1. ábrán*. A bemeneti oldalon a hulladék és levegő, a kimeneti oldalon a tisztított füstgázok, a tisztítási maradék és a szilárd égetési maradék (salak, pernye) látható. Az emisszión belül a dioxinokkal kapcsolatban külön kockázatelemzést végeztek. A hulladékégetés elemezésének célja a módszer előnyeinek bemutatása.

Az Egyesült Királyság hulladékgazdálkodásában ez ideig nem sikerült érvényt szerezni az integrált hulladékkezelésnek. Az *1. táblázat* néhány EU-tagország hulladékkezelési gyakorlatát ismerteti. Az adatok megerősítik azt a nézetet, hogy a hulladék energetikai hasznosítása nem érinti hátrányosan sem a hulladék újrafeldolgozását, sem komposztálását.

1. táblázat

Egyes EU-tagországok hulladékkezelési gyakorlata

Ország	**Év**	**Komposztálás**	**Energetikai hasznosítás**	**Újrafeldolgozás**	**Lerakás**
			%		
Belgium	1998	15	21	37	27
Dánia	1999	14	50	25	11
Franciaország	1998	6	27	8	58
Hollandia	1999	23	41	24	12
Egyesült Királyság	2001	3	8	12	77

Kommunális szilárd hulladékok az Egyesült Királyságban

Az Egyesült Királyságban évente 30 x 10^6 tonna kommunális szilárd hulladék képződik. A nemzetközileg elfogadott hulladékkezelési hierarchia – szinte dogmaszerűen – a következő:

- megelőzés,
- újrahasználat (reuse),
- újrafeldolgozás (recycling), amennyiben az előállított termék értékesíthető, és a módszer környezeti előnnyel jár,
- energetikai hasznosítás,
- amennyiben az előző kezelési módok egyike sem lehetséges, akkor a legkisebb környezetterheléssel járó lerakás.

A legfontosabb a hulladék mennyiségének csökkentése, ami azért ütközik nehézségekbe, mert a profitérdekelt gazdaságban a vásárlásösztönzés legnépszerűbb módja a reklám. A csomagolás erre a célra kiválóan alkalmas, ezért bizonyos termékcsoportoknál tetten érhető a túlcsomagolás. Az újságok egyik legfontosabb bevételi forrása közismerten a reklám.

A *2. táblázatból* a kommunális szilárd hulladék összetétele olvasható le. Az adatok annyiban szorulnak kiegészítésre, hogy a sűrűn lakott településeken nagyobb a műanyaghulladék aránya. A különböző csomagolóanyagok előállításában a műanyaggyártás energiafogyasztása a legkisebb *(3. táblázat)*.

2. táblázat

A kommunális szilárd hulladék összetétele

Anyag	**% (m/m)**
Por és hamu	9,0
Szerves háztartási hulladék	24,0
Papír és karton	31,0
Fém	7,8
Textil	4,9
Üveg	8,0
Műanyag	11,0
Egyéb	4,7

3. táblázat

A csomagolóanyag-előállítás fajlagos energiaigénye

Megnevezés	**Fajlagos energiaigény (kWh/kg)**
Alumínium	74,1
Acél	13,9
Üveg	7,9
Papír	7,1
Műanyag	3,1

A kommunális szilárd hulladékok energetikai hasznosítása szempontjából előnyös a nagy műanyaghányad, ha más hasznosítási mód nem gazdaságos, mint pl. az élelmiszer-csomagolásban első helyen álló műanyag fóliáké.

A *4. táblázatban* található a 2. táblázat szerinti hulladékok elemek szerinti összetétele, nettó fűtőértéke és a nedvességtartalma.

4. táblázat

A kommunális szilárd hulladék összetétele és fűtőértéke

Jellemző	**% (m/m)**
Szén	24
Hidrogén	3,2
Oxigén	15,9
Nitrogén	0,7
Kén	0,1
Víz	31,2
Klorid	0,7
Hamu és egyéb nem éghető komponens	24,2
Nettó fűtőérték	10 600 MJ/t
Nedvesség	31,2
Éghető anyag	44,6
Hamu	24,2

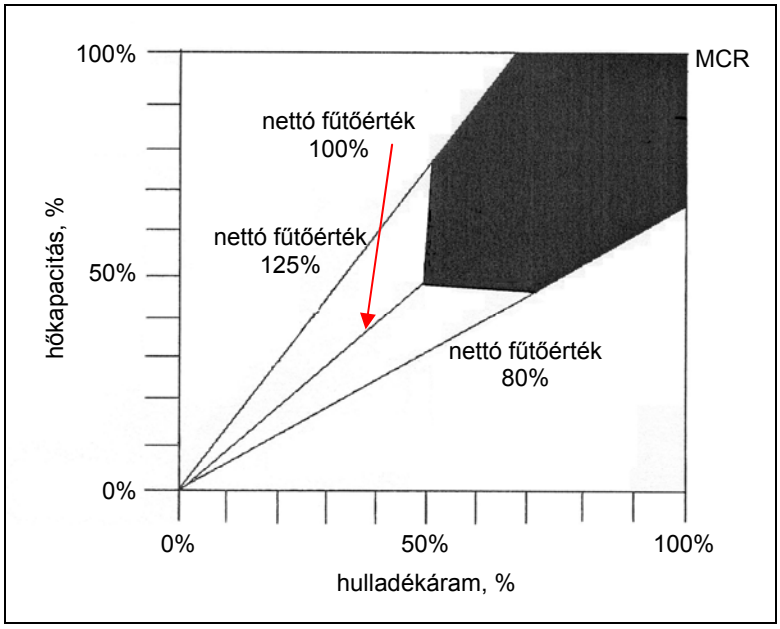
Újrahasznosítással/komposztálással csökkenthető a hulladék mennyisége, de ennek nincs hatása a fűtőértékre. Daventry körzetében az újrahasznosítási (recycling) arány a legfrissebb adatok szerint 44%, ami visszagyűjtésből és a szerves hulladék komposztálásából áll. Az előbbi aránya 14%, az utóbbié 30%.

Az *5. táblázat* a 40% névleges újrahasznosítási arány fűtőértékre gyakorolt hatását mutatja, és látható, hogy újrahasznosítással nő a maradék hulladék fűtőértéke.

A *2. ábrából* a kommunális szilárd hulladékok újrahasznosítás vagy komposztálás utáni maradéka és a termikus hasznosítás hatásfoka közötti összefüggés olvasható le. A fűtőérték a tervezési érték 60–125%-a között mozoghat.

A kommunális szilárd hulladékok mennyisége az Egyesült Királyságban évente 4%-kal nő, és lassuló tendenciát mutat. Az újságokban megjelenő hirdetések és a hulladékképződés közötti összefüggés vizsgálatakor azt találták, hogy a 120 oldalas Guardian Newpaper 2001. november 21-ei számának melléklete, amely 95%-ban nagyméretű állás-hirdetésből állt, 300 g-ot nyomott. Ha sikerülne korlátozni a hirdetések és

reklámok terjedelmét, akkor ennek az egyetlen újságnak az esetében ez 4 M kg megtakarítást jelentene évente. A hulladékképződés tendenciáit figyelve minden hulladékkezelési javaslatot komolyan meg kell fontolni.



2. ábra Standardizált égetési diagram

5. táblázat

A hulladékhasznosítás utáni maradék aránya és a frakciók fűtőértéke

Megnevezés	Részarány	Újrahasznosí-tási tényező %	Maradék	Tájékoztató fűtőérték MJ/kg
Papír és karton	31	0.33	20	12–14
Üveg	8	0,5	4	0
Fém	8	0.5	4	0
Szerves háztartási hulladék	24	0,7	7	1–2
Műanyag	11	0,2	9	29–35
Összesen	82		44	
Egyéb	18		18	
Összesen	100		62	

Érdemes megvizsgálni, hogy milyen következményekkel járhat a kommunális hulladék mennyiségének 3, illetve 4%-os növekedése, és hogy mit jelentene mindez az egyes ártalmatlanítási módok szempontjá-ból.

3%-os növekedési ütem mellett a jelenlegi mennyiség 25 év alatt megkétszereződik, 4%-os növekedési ütem mellett ez már 18 év alatt bekövetkezik. A hulladékstatisztikák azt mutatják, hogy a növekedés 1996/97-ben 3,2%-os, 2001/2002-ben 2,7%-os volt. Amennyiben a termikus hulladékhasznosító kapacitás változatlan marad, akkor növelni kell az újrahasznosítást és komposztálást. Egy 100 E t hulladékot termelő területet kiszolgáló hulladékégető kapacitása 65 E t/év (35%-os újrahasznosítás és komposztálás az első évben). 4%-os növekedési ütem mellett, változatlan termikus feldolgozókapacitás esetén az újrahasznosítási/komposztálási kapacitást 135 E t/évre kell növelni a 18. év végére. Ez évi 7,5%-os kapacitásbővítést jelent a bázis év 35%-áról indulva. Az adatok csak megerősítik a szakemberek gyakran hangoztatott véleményét, hogy minden szóba jövő hulladékkezelési megoldást mérlegelni kell. Az égetéssel szerzett tapasztalatok alapján a döntéshozók felelőssége, hogy széles körben elterjesszék a hulladékkezelésnek ezt a módját, már csak abból a megfontolásból is, hogy a lerakási lehetőségek egyre szűkülnek és drágulnak.

Égetés

A 2. és 4. táblázat adatai alapján, 100%-os levegőfelesleggel végzett égetés során 1 g kommunális szilárd hulladékra számított anyagmérleg látható a *6. táblázatban*. Az égetéskor keletkező füstgáz összetétele a *7. táblázatban* szerepel.

6. táblázat

1 g kommunális szilárd hulladék elégetésének anyagmérlege

Megnevezés	**Tömeg (g)**
Bemenet (hulladék)	1,0 g
Szárított levegő	6,4
Összesen	**7,4**
Kimenet	
Szén-dioxid	0,881
Víz	0,288
Oxigén	0,738
Nitrogén	4,9
Sósav	0,007
Hamu	0,242
Vízgőz (az hulladékból távozó)	0,312
Összesen (kerekítve)	7,4
Bemenet = kimenet	

7. táblázat

A füstgáz összetétele

Megnevezés	**%**
Szén-dioxid (85%-ban biológiai eredetű)	12,3
Víz	8,37
Oxigén	10,3
Nitrogén	68,4
NO_x	0,014
Sósav (tisztítás után)	0,001
Összesen	**100,0**

Mivel a szén-dioxid 85%-a biológiai eredetű, az emissziók számításához az ipari kazánok és hőerőművek adatait használták *(8. táblázat)*.

8. táblázat

Ipari kazánok és hőerőművek szén-dioxid-kibocsátása

Égetőmű típusa	**Termelt energia (fajlagos szén-dioxid-kibocsátás)**
Széntüzelésű	410 g/kWh hőenergia (kb. 950 g CO_2/kWh áram)
Gáztüzelésű	226 g/kWh hőenergia (kb. 525 g CO_2/kWh áram)
Kombinált gázturbina	kb. 400 g CO_2/ kWh áram
Szén-dioxid-kibocsátás csökkenéstése hulladékégetővel termelt áram esetén	
Kőszéntüzelésű	(950–264) = 686 g/kWh áram
Gáztüzelésű	(525–264) = 261 g/kWh áram
Kombinált gázturbina	400–264) = 136 g/kWh áram
	A széntüzelésű hőerőművel összehasonlítva kb. 90%-os csökkenés érhető el

A hulladékégetők előnye a lerakókkal összehasonlítva a metánképződéssel kapcsolatos. 20 éves időtartamra számítva 1 tonna kommunális szilárd hulladékból 1,2 t szén-dioxiddal egyenértékű metán szabadul fel. Már önmagában ez elegendő érv a hulladékégetés mellett, de ezenkívül a termikus hulladékhasznosítás tiszta nyeresége 500 kWh_e/t hulladék, szemben a lerakóra szállított 125 kWh_e értékkel. (A fenti adatok az Egye-

sült Államokban végzett kísérletből származnak.) A lerakókkal szemben további érv az üzemek körüli telkek árának rohamos csökkenése.

Emissziók

A *9. táblázatban* összehasonlították az Egyesült Királyságban mért értékeket (a legkedvezőbb esetet véve alapul) az EU-átlaggal és az EU hulladékégetésre vonatkozó irányelvének (Waste Incineration Directive – **WID**) határértékeivel. A táblázat az Egyesült Királyságban 1991-hez viszonyítva elért javulást is mutatja (százalékban kifejezve).

A *10. táblázat* két hulladékelgázosító üzem, a Burgauban (Németország) működő ellenőrzött adatait és az angliai Compact Power (Bristol) ismertetőjében megadott emissziókat hasonlítja össze.

9. táblázat

Az Egyesült Királyság (**EK**), az EU tagállamok és a WID határértékeinek összehasonlítása

Megnevezés	**Emisszió, mg/Nm³, dioxin ng/Nm³, szárított gáz 11 % O_2**			**EK-átlag**	**Csökkenés (1991-hez képest), %**	**Terhelés[1], g/t**
	EK-ban mért	**Európai átlag**	**WID-határértékek**			
Részecske	0,9	2,2	10	500	99,8	4,95
HCl	20	1,6	10	689	97,1	55
HF	<0,1	0,03	1	N.A.	–	0,55
SO_2	36	7,2	50	338	89	198
NO_x –(NO_2-ban kifejezve)	274	29	200 [a/]	N.A.	–	1100
CO	5	–	50	220	98	27,5
VOC[b/]	<5	–	10	N.A	–	<27,5
Hg	<0,02	<0,001	0,05	0,26	99	0,11
Cd	<0,001	<0,001	0,05 (Cd + Ti)	0,6	99,8	0,0055
∑7 NF/∑12 NFÖ	∑7 <0,1	∑12: 0,16	0,5	> 11,0	99	<0,55
Dioxin I-TEQ ng/Nm³	0,006	<0,01	0,1	>225	99,9	33
NH_3	–	<0,1	–	–	–	
Nem biológiai eredetű CO_2 132 kg						

1. Az 1. oszlopban szereplő értékekhez hozzászámítva 200 mg/Nm³ NO_x- t, és 10 mg/Nm³ HCl – t – dioxinok ng TEQ

[a/] a 3 t/év –nél nagyobb kapacitású égetők esetén

[b/] illó szerves anyag

NF– nehézfém

NFÖ – nehézfémek összesen

I-TEQ – nemzetközi toxicitás egyenérték

A 8. és 9. táblázat értékeiből kitűnik, hogy emissziók tekintetében nem nagy a különbség, az elgázosítás alkalmával keletkező füstgáz mennyisége egységnyi hulladékra vetítve azonban 40%-al kisebb, mint a hulladékégetésé. Ha viszont az elgázosításhoz beszámítják a hulladék előkészítését, pl. a granulálás és közúti szállítás emisszióját is, akkor már alig van különbség.

10. táblázat

A burgaui elgázosító és a Compact Power ismertető adatai, illetve a 17.BimSchV határértékei (napi átlagok)

Üzemi adatok
Kapacitás: 6 t/ó
Fűtőérték. 8000 kJ/kg
Füstgáz mennyisége: 30 E Nm^3/ó
A kibocsátás megfelel a 17. BimSchV határértékeinek, ami 11 % O_2 –re és száraz gázra vonatkozik

Kibocsátások (folyamatos mérés alapján)	**Burgauban (mért), mg/Nm^3**	**Compact Power**	**17. BimSchV, mg/Nm^3**
CO	10	nyomokban	50
Összes por	2	0,2	10
Összes szerves anyag C-ben kifejezve	2	nyomokban	10
Szervetlen klórvegyületek HCl-ben kifejezve	5	2	10
Szervetlen fluoridok HF-ben kifejezve	0,5	0,1	1
Kén-dioxid és kén-trioxid SO_2-ban kifejezve	20	25	50
Nitrogén-monoxid és nitrogén-dioxid NO_2-ban kifejezve	180	<37	200
Esetenkénti meghatározás			
Összes Cd, Ti	0,01	0,006	0,05
Összes Sb, As. Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	0,1	0,006	0,5
PCDD/PCDF (TEQ-ban)[a/]	0,002 ng/Nm^3	0,003	0,1 ng/Nm^3

Lábjegyzet:
[a/] PCDD/PCDF – poliklórozott dibenzo-dioxin/dibenzo-furán

Egyébként az ismertetőkben szereplő adatokat fenntartással kell kezelni, mert ezek elsődleges célja, hogy a technológia előnyeit mutas-

sák be, azt a lehető legkedvezőbb színben tüntetve fel. Tényszerű adatokról alig esik szó a leírásban. Egyes vélemények szerint a tájékoztatókban közölt adatok egyáltalán nem meggyőzőek az eljárás hosszú távú életképességét illetően. Önmagáért beszél az a tény, hogy nem szerepel benne referenciaüzem. A bombasztikus jövőképben előszeretettel hivatkoznak a fluidizációs technológia során keletkező nagy fűtőértékű szintézisgázra mint hatékonyságnövelő tényezőre. Eközben megfeledkeznek arról, hogy a hulladékégetők mögött már több mint 50 éves tapasztalat áll.

Dioxinkibocsátás

A kommunális szilárd hulladék elégetésekor keletkező dioxin éves mennyisége nem éri el a 2 g-ot. A kibocsátásért elsősorban a vas- és acélipar felelős, ezt követi a nemvasfémek kohászata és az erőművek.

A közelmúltban a száj és körömfájás miatt elhullott állati tetemek égetése során 63 g dioxin került a légtérbe 2001. április 23-ig. Az Egyesült Királyság valamennyi hulladékégetőjének éves dioxinkibocsátása nem éri el 3 g-ot. Az adatok ismeretében úgy tűnik, hogy tévedett a kormány, amikor a hulladékégetőket tüntette fel a dioxinkibocsátás fő forrásaként.

A környezetvédelmi hatóság hulladékégetőkkel kapcsolatban előírja:

– az emisszió folyamatos monitorozását, ezen belül a kén-dioxidét, -oxidét vagy nitrogénét, sósavét, szén-monoxidét, illó szerves komponensekét és a porkibocsátást;
– az egyéb szennyező anyagok ellenőrzését évente kétszer, ami a hidrogén-fluoridot, nehézfémeket és dioxinokat érinti;
– évente egyszer független laboratórium által végzett ellenőrzést;
– rendszeres és szúrópróbaszerű hatósági ellenőrzést.

A hulladékégetők ellenőrzése pontosan szabályozott, ami nem mondható el a többi égetőről.

Energetikai hasznosítás

A hulladékégetéssel megtakarítható erőforrásokat (elméleti számítások alapján) a *11. táblázat* mutatja.

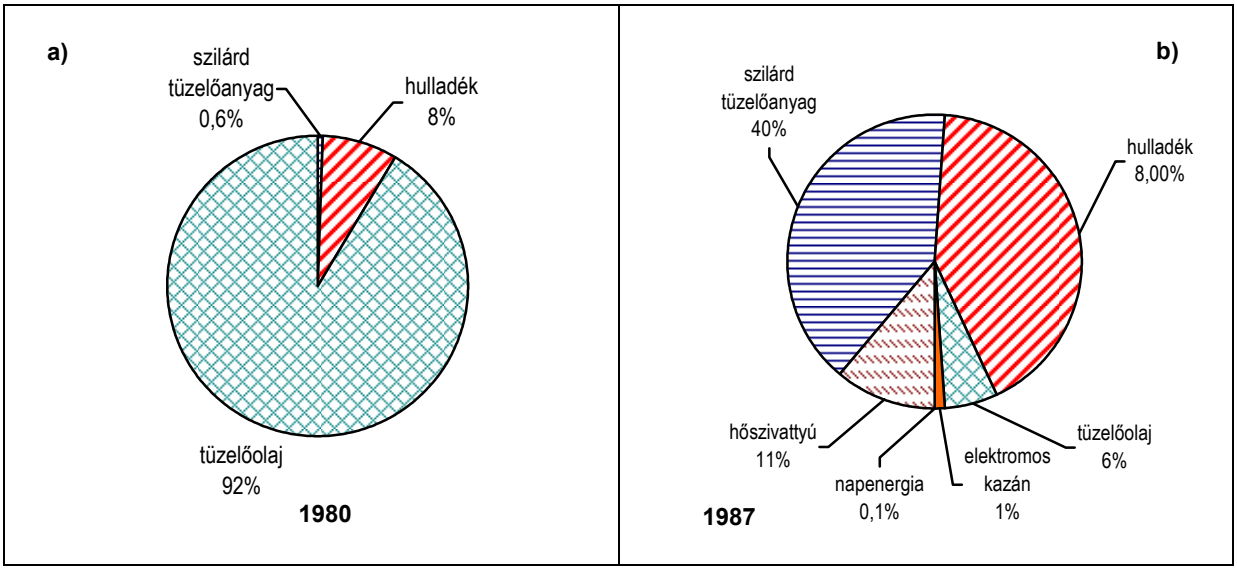
Míg a hulladékégetőkkel megvalósuló áramtermelés előnyei közismertek, addig a kombinált áram- és hőtermelés előnyösebb az erőforrás-kímélés szempontjából: az eljárás hatékonysága a teljes folyamatra vetítve jobb, és a módszer az üvegházhatás szempontjából kedvezőbb. Számítások szerint a fosszilis fűtőanyagok emissziója kb. 76%-kal csökkenthető a módszerrel. Az erőforrás-kímélés jól követhető a svédországi

Uppsalában üzemelő távhőerőmű fűtőolaj-fogyasztásának 1980 és 1987 közötti változásával *(3. ábra)*.

11. táblázat

Hulladékégetőkkel megtakarított erőforrások

1 t hulladék	2,5 t gőz (400 °C, 40 bar)
1 t hulladék	30 t forró víz (180/130 °C)
1 t hulladék	200 kg kőolaj
1 t hulladék	500 kWh áram



3. ábra Az uppsalai távhőüzemben felhasznált tüzelőanyagok 1980-ban és 1987-ben (az utóbbi a hulladékégetés megkezdése után)

Az égetés szilárd maradékai

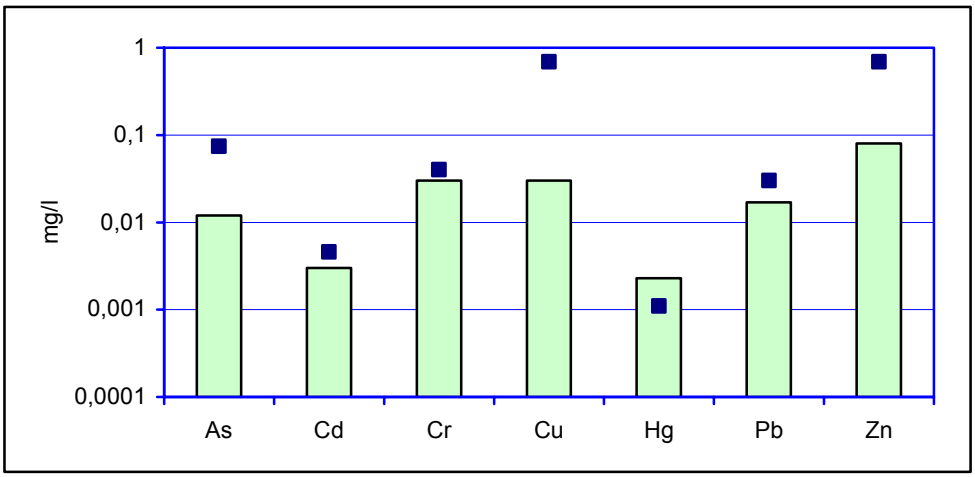
1 t kommunális szilárd hulladékból 0,25 t salak keletkezik, az abban lévő minimális vashulladék mágneses úton leválasztható. Számolni kell még 40 kg levegőtisztításból származó szennyező anyaggal, amelyet engedélyezett lerakókra visznek.

A *12. táblázat* néhány EU-tagállam salakhasznosítási gyakorlatát mutatja. Az Egyesült Királyságban a salakhasznosítást mint újrahasznosítási módot nem ismerik el, ami indokolatlan és érthetetlen, a tört üvegcserép megkapta ezt a besorolást. A Staffordshire megyei tanács útépítési segédanyagként eredményesen alkalmazta hulladékégető salakját.

12. táblázat

Hamuhasznosítás három országban

Ország	Képződő hamu mennyisége, t/év	Szabályozás	Felhasználás	
			%	módja
Dánia	420 E	vasfémek eltávolítása, anyag öregítése, szivárgásteszt, talaj-víz-védelem,	nagyobb mint 90	útépítés, parkolók alapja,
Franciaország	2 M	szivárgásteszt, égetésveszteség kisebb, mint 5%, öregítés, felhasználás előtt fémek eltávolítása és szitálás,	45	útépítés
Németország	2,5 M	égetésveszteség kisebb, mint 2%, kilúgozhatóság kisebb, mint 1%, öregítés, fémek és el nem égett anyagok eltávolítása, nagyobb darabok kirostálása felhasználás előtt	60	útépítés, gátépítés, zajcsökkentés



4. ábra A hogdaleni EFW kombinált (áram+hő) hulladékégető pernyekimosódási vizsgálatakor mért nehézfém-koncentráció az EU ivóvízirányelvének értékeivel (■) összehasonlítva

Az levegőből kivont maradék szennyezéseket töltőanyagként hasznosítják. A svéd Hogdalen EFW CHP hulladékégetőből származó pernyével kioldódási vizsgálatot végeztek. A cementtel kevert maradék mérési eredményei megfelelnek az ivóvízszabványnak *(4. ábra)*.

Kockázat és általános értékelés

Az utolsó akadályt jelentő dioxinnal kapcsolatban megállapítható, hogy 1991-hez képest 99,9%-os csökkenést értek el (9. táblázat), itt tehát nincs különösebb kockázat.

Hulladékégetéskor keletkező dioxinterhelés maximális expozíciónak kitett személyre számítva:

1. Egy felnőtt évente 2000 m^3 levegőt lélegez be.
2. A kéményen keresztül 0,1 x 10^{-9} g/m^3 dioxin távozik. A föld közelében ez több mint 10 000-szeresére hígul a turbulencia és a magasság következtében. Napi 24 órás expozíciót véve alapul az évi dioxinbevitel a következő:
   [2000 x 0,1 x 10^{-9}]/ 10 000 = 20 x 10^{-12} (20 parts per quadrillion) vagy 20 pg/év. Ez végtelenül kis mennyiség.
3. Megengedhető napi belégzés (tolerable daily intake, **TDI**): 2 pg TEQ/kg/nap. (TEQ=toxicitási egyenérték).
4. Egy 70 kg-os felnőtt esetén ez 70 x 365 nap x 2 pg = 51 100 pg/év. A TDI százalékában kifejezve: 20/51 000 x 100 = 0,039 %. A korszerű hulladékégetők teljesítik ezt a dioxinszintet.

Megjegyzés: Amennyiben az US FDA szerinti 0,1 pg TEQ/nap értékkel számolnak, akkor a hulladékégető hozzájárulása a dioxinterheléshez 0,78 %. Az egyéb forrásból származó dioxint ehhez hozzá kell adni.

Elmondható tehát, hogy az EU vonatkozó irányelvének (WID) megfelelő hulladékégetés rendkívül csekély kockázattal járó, környezetkímélő módszer a kommunális szilárd hulladékok újrahasznosítása vagy komposztálása utáni maradékok kezelésére. A hulladékégetés nyeresége 500 kWh_e energia és 200 kg adalékként hasznosítható salak egy tonnányi hulladékra vetítve.

Az égetés előnye a lerakással szemben, hogy a globális felmelegedés megelőzhető részben a zöldenergia-hányados, részben a lerakókból távozó üvegház-hatású gázok elmaradása révén.

A komposztálást, újrahasznosítást és hulladékégetést egyetlen rendszerbe foglaló integrált hulladékgazdálkodást Európa számos országában és a skandináv államokban eredményesen alkalmazzák. Az Egyesült Királyság feladata a lemaradás felszámolása, és a fenntarthatatlan, a környezetet kedvezőtlenül érintő hulladéklerakás leállítása.

Összeállította: Haidekker Borbála

Porteous, A.: Why energy from waste incineration is an essential component of environmentally responsible waste management. = Waste Management, 25. k. 4. sz. 2005. p. 451–459.

Davy, C.W.: Legislation with respect to dioxins in the workplace. = Environment International, 30. k. 2. sz. 2004. p. 219–233.