

8.1 Kiselejtezett elektromos és elektronikus készülékek aprítás utáni maradékainak elégetése

*Tárgyszavak: aprítás; elektromos; elektronikai hulladék;
hulladékégetés; hulladékhasznosítás; shredder.*

Az E+E-hulladékokból származó maradékok elégetésének problémája

A würzburgi hulladékégető üzemben a háztartási szeméttel együtt elégetnek kiselejtezett elektromos és elektronikus (E+E) készülékeket, amennyiben azok a szemetes kukákba kerülnek. Ez nem okoz semmiféle műszaki vagy környezetszennyezési problémát. Amennyiben a törvény értelmében a kiselejtezett villamos készülékeket a jövőben külön kell begyűjteni, akkor ennek a közös elégetésnek a gyakorisága csökkenni fog.

Az ilyen készülékek szétbontásakor a fémes alkotókat, főként a vasat és a vörösrzet értékesítik, viszont a szemétégetés szempontjából problémát jelentő anyagok, például a brómozott lánggátló adalékok és egyéb halogénezett vegyületek a bontásból visszamaradt, nem értékesíthető maradékkal együtt szintén a szemétégetőbe kerülnek. A kipróbált eljárással szemben az ilyen anyagáram többé nem egyenletesen elosztva kerül a szemétbe, hanem egyenlőtlenül, koncentrált formában jut a szemétégetők hulladéktárolóiba.

Ezért meg kellett vizsgálni, hogyan viselkedik a berendezés akkor, amikor a villamos készülékek szétbontásakor visszamaradó hulladékkal együtt égetik el a közönséges szemetet.

Továbbá ellenőrizni kellett, hogy milyen hatással van az égetőmű rostélyrendszerére az együttes elégetéskor a szemétbe került nagyobb fémmennyiség, pl. az Al és a Zn, továbbá, hogy ezek hogyan befolyásol-

ják a rendszer működését, valamint a levegőszennyezés jellegét. Tisztázni kellett, hogy van-e a lehetőség a rostélyról a hamuba kerülő értékes fémanyagok visszanyerésére és hasznosítására a színesfémiparban. A rostélyhamu tulajdonságait üledékmosással kellett meghatározni, ahhoz a módszerhez hasonlóan, ahogy az Hollandiában és az USA-ban már bevált.

A kiselejtezett villamos készülékek szétbontásakor visszamaradt anyagok tartalmazhatnak nyomokban bizonyos veszélyes szerves alkotókat, így például PBDE (penta-octa), PBrDD/F és PCB anyagokat is. Ezek esetleges káros hatásait is értékelni kellett, megfelelő vegyelemzési módszerek eredményei alapján. További feladat volt annak vizsgálata, hogy milyen mértékben bomlanak le ezek a veszélyes összetevők a szemétegetőben.

A villamos és elektronikus készülékekre vonatkozó törvény értelmében személyenként évente minimum 4 kg kiselejtezett terméket kell elkülönítve begyűjteni. Eszerint Németországban évente minimum 320 000 tonna hulladék szelektív begyűjtéséről kell gondoskodni, amit a helyzet jelenlegi állása szerint előreláthatólag túl lehet teljesíteni. A Goslarban üzemeltetett szemétegetőmű tapasztalatait is figyelembe véve évente minimum 50 000 t maradék hulladéokra lehet számítani.

Az elektromos és elektronikus berendezésekből származó műanyagok

Az elektromos és elektronikai termékek gyártásában – különböző okokból – sok műanyagot használnak fel. Ezek többek között kiváló villamos szigetelő tulajdonságokkal rendelkeznek, szilárdságukat magas hőmérsékleten is megőrzik, ellenállnak a mechanikai igénybevételnek, alakíthatók, színezhetők stb. A számos műszaki és gyártástechnológiai követelményt kielégítő tulajdonságaik azt eredményezték, hogy a piacon igen sok különböző műanyag típus tudott meghonosodni. A termékek folyamatos tökéletesítése következtében a piacra kerülő műanyag típusok jelenleg rendkívül bonyolult összetételek, ami természetesen a kiselejtezett készülékek anyagaira is érvényes.

Az E+E-hulladékok piacon lévő mennyisége jelenleg viszonylag szerény. Ennek az anyag tömegnek a minőségét eddig csak igen korlátozottan vizsgálták. Az alábbiakban ismertetésre kerülő munka egyik célja az volt, hogy jobban le lehessen írni ezeknek az anyag tömegeknek a jellemzőit. A piaci információk egyébként az interneten hozzáférhetők (www.plasticseurope.org és www.plastics.org).

Kiselejtezett E+E készülékek

A vizsgálatokat két különböző szállítótól származó anyagkeveréken hajtották végre. Az EAM (1) (elektromos berendezés aprításából származó **maradék**) jelű hulladék előállításához a meglévő gyűjtőrendszert használták, a másik (EAM (2) jelű) anyagot pedig egyszeri gyűjtésből nyerték. Az EAM (1) jelű E+E hulladékkeverék az alábbi berendezésekből állt – a vonatkozó német törvény (ElektroG) jelöléseivel:

- 2 háztartási kiskészülékek,
- 3 informatikai és híradástechnikai berendezések,
- 4 szórakoztatóelektronikai készülékek,
- 6 villamos és elektronikus szerszámok,
- 7 játékok, valamint sport- és szabadidő eszközök,
- 8 orvosi termékek, az implantációs és a fertőző termékek kivételével.

Az EAM (2) jelű keveréket a fenti 2, 3 és 4 kategóriák berendezéseiből állították össze.

A kiselejtezett villamos készülékek feldolgozása

A leszállított anyagot előzetes szétszerelés során mentesítették a káros anyagoktól. Ezt követte a műanyagok aprítása, a képcsövek feldolgozása, majd az üveg mechanikai kezelése.

A sok kézimunkát igénylő előszerelés után a káros anyagoktól mentesített alkatrészeket, valamint a kis készülékeket mechanikai úton dolgozták fel.

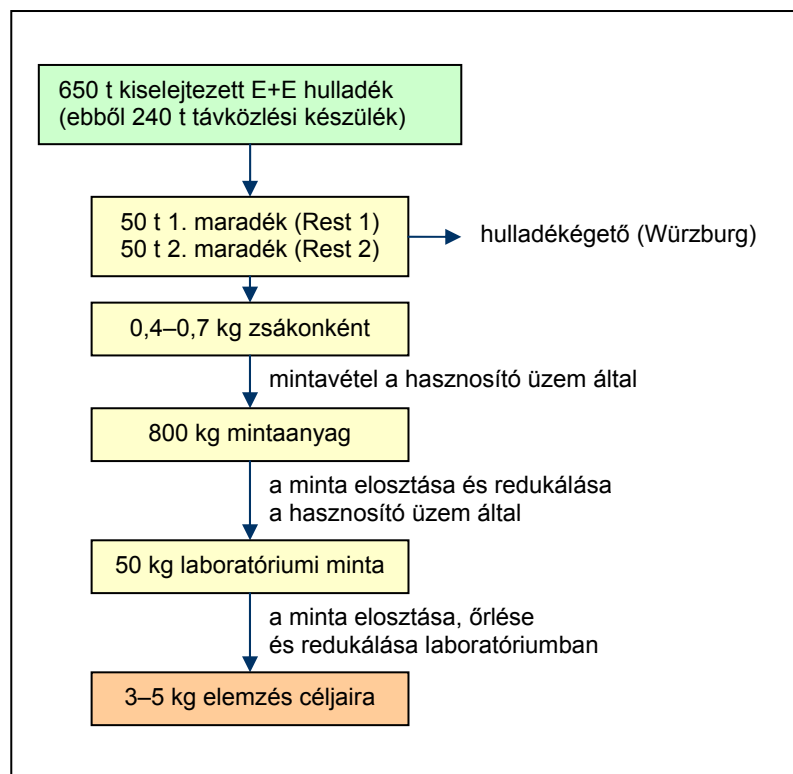
A kinyert vas- és színesfémanyagot őrléssel, rostálással és más száraz, valamint nedves eljárásokkal további feldolgozásnak vetették alá. Ily módon értékesíthető frakciókat kaptak.

A fő kísérletekhez felhasznált anyag feldolgozásáról nyújt felvilágosítást az *1. ábra*.

Az égetési kísérletek programja

Az égetési kísérleteket az égetőmű 2. üzemsorán hajtották végre. Ennek a sornak a megválasztását az indokolta, hogy korábban (1994 és 1997) már kedvező tapasztalatokat szereztek műanyagok más tüzelőanyaggal közös elégetése és aprított gépkocsironcsokból származó maradékok megsemmisítése terén. Remélni lehetett, hogy a gazdaságos

és hatékony száraz füstgáztisztítás ismét eredményes, továbbá, hogy mind a szilárd, mind a gáz halmazállapotú fázisok kiégése megfelelő lesz.



1. ábra A kísérletekhez felhasznált anyag feldolgozása

A berendezés

A Würzburgban üzemeltetett égetőmű leírása többek között a www.zvaws.de honlapon is olvasható. A feldolgozott hulladékok 1997-hez képesti változásait mutatja a 2. ábra.

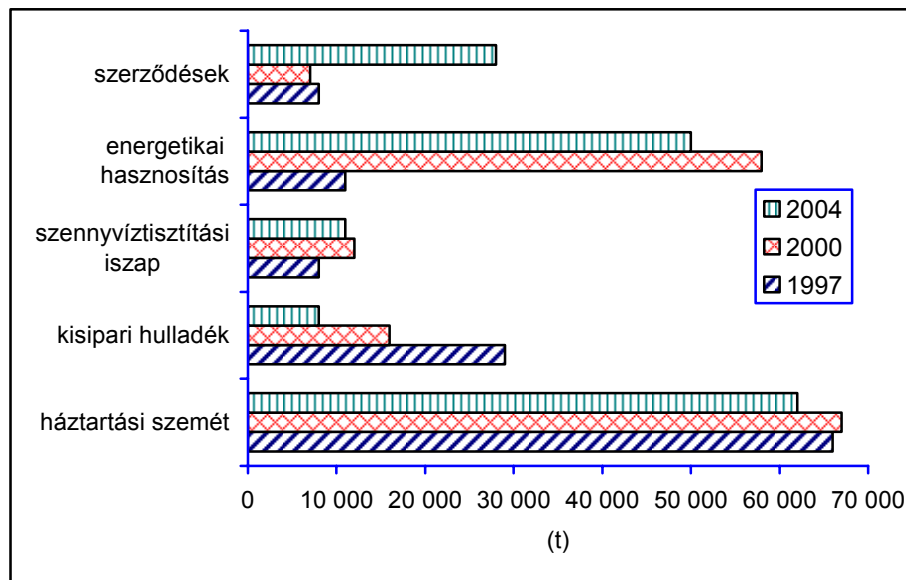
A változások oka többek között a hulladékokra vonatkozó törvényi előírások módosítása. Ezenkívül némileg növekedett az elégetett szennyvíziszap mennyisége.

Az égetőberendezés elrendezése és kialakítása szempontjából is több változás történt. Ezek:

- a nyers füstgáz kezelése párologtató hűtővel,
- az aktív szén és a kalcium-hidroxid önálló adagolásának lehetősége,
- a nitrogén-oxidok katalizátoros redukálása.

A berendezés új levegőszennyezés-ellenőrző rendszerének beindítása óta mért légszennyezési adatok igazolják annak jó működését és a

törvényi előírások tökéletes betartását. A korszerű berendezés lehetővé tette, hogy az eltávozó füstgázokban jelentős mértékben tovább csökkentsék a HCl, a kén-oxidok és a nitrogén-oxidok koncentrációját. A mész-/aktívszén-felhasználás, valamint a szűrőpernye mennyisége is csökkent, ami hozzájárult a berendezés gazdaságosságának javulásához.



2. ábra A hulladék mennyiségének változásai a würzburgi hulladékégetőben, tonnában

A hulladékégető kísérleti üzeme

Az egyhetes kísérleti fázis alatt a kazán rendszeres karbantartási periódusának végén üzemelt.

Az egyes kísérleti fázisok a következők:

A Normálüzem.

B EAM(1) – együttes égetés: 11 %(m/m).

C Cél a B-hez képest növelt mennyiségű EAM(1) volt, ezeket a kísérleteket azonban a mészadagolás üzemzavara miatt megszakították.

D EAM(1), EAM(2) és különböző, nagyobb fémtartalmú aprítási frakciókból álló keverék közös elégetése abból a célból, hogy fokozott fémtartalmú salakot kapjanak, amelynek feldolgozásával gazdaságosan lehet nehézfémeket, különösen vörösrezet kinyerni.

E A C kísérlet megismétlése, amikor is a beadagolt EAM(1) mennyisége 26 %(m/m) volt.

A berendezés normál üzemvitelén a lehető legkevesebbet változtattak. A kísérleti körülmények megközelítették a szokásos hulladékégetési üzemmódot.

Ez teljes mértékben érvényes volt a levegőelosztásra, a tűztérre, a kazánra és a füstgáztisztító berendezésre is.

Szilárd anyagmintákat vettek az alábbi anyagtömegekből:

- rostélyhamu a nedves salaktisztítóból,
- szállópernye a negyedik kazánjáratból,
- ciklonhamu a ciklon alján lévő ürítő szelepből,
- a porsiló textilszűrőjéről származó reakciótermék.

A mintavételezés a nemzetközi előírásoknak megfelelően történt. A D kísérleti fázisból származó salakot külön vizsgálták és tárolták.

A vashulladékot egy felső állású mágnes segítségével távolították el a salakból.

A füstgázminták vételezését tapasztalt szakemberek hajtották végre, mégpedig

- a kéményből származó tisztított füstgázból és
- a póthűtő végén belépő nyers füstgázból.

Az EAM jellemzése

A villamos és elektronikus készülékek aprításából származó frakciók összetétele közötti nagy eltérések azzal magyarázhatók, hogy az egyes begyűjtőrendszerek teljesítménye különböző, és az azokba kerülő kiselejtezett készülékek sem egyformák (1. táblázat).

Az EAM (1) csoportba tartozó készülékek fém- és nehézfém-tartalma viszonylag nagy, ugyanakkor jelentős mértékben eltér a kiselejtezett gépkocsik aprítási frakciójától. Az utóbbiak az autókarosszériák aprításának maradékfrakciójából és a háztartási készülékek aprítási maradékaiból áll. Ezek összetételének széles határok közötti ingadozásai mutatják, hogy a jelenlegi EAM-típusok között igen nagy a különbség, attól függően, hogy mennyire alaposan és gondosan végzik a mentesítést a káros anyagoktól. Az autóbontásból származó aprítási könnyűfrakció esetében ugyanez a helyzet, bár az összetételi határok ingadozása némileg kisebb. A két hulladékfajta közötti fő eltéréseket a 2. táblázat mutatja.

A nehezen lebomló szerves halogének fokozott környezetvédelmi jelentősége miatt megvizsgálták ezek koncentrációját a kiselejtezett villamos készülékek feldolgozási hulladékának maradékában (3. táblázat).

A táblázat szerint a REST2 frakcióban a PCB-koncentráció megközelíti a PCB-hulladékra vonatkozó német előírások szerint megengedhe-

tő érték felső határát. Ezért elengedhetetlen, hogy a villamos és elektronikus hulladékot a rendelkezéseknek megfelelő módon értékesítsék, vagy gondoskodjanak eltávolításukról.

1. táblázat

Az EAM(1)-frakció elemzési eredményeinek összehasonlítása az irodalomból származó adatokkal

		Maradék (Rest 1)	Maradék (Rest 2)	Keverék 50/50 arányban	Jellegzetes EAM- tartomány
		durva	finom		
Égetési paraméterek				számított	irodalomból
Fűtőérték	GJ/t	26	20,3	23,1	9–20
Izzítási veszteség 850 °C fölött	%(m/m)	82,2	77,6	79,8	15–80
Karbon	%(m/m)	65	49,5	57,2	20–40
Hidrogén	%(m/m)	5,74	5,6	5,67	2–6
Semleges alkotó					
Hamu	%(m/m)	19,4	22,4	21,2	28–61
Nedvességtartalom	%(m/m)	3	–	–	2–5
Halogének					
Br	%(m/m)	2,66	5,5	4,08	0,5–6
Cl	%(m/m)	1,62	1,6	1,61	0,5–6
F	%(m/m)	0,05	0,11	0,08	0,01–0,08
Nehézfémek					
Hg	mg/kg	0,24	1,9	1,07	1–49
Cd	mg/kg	53,8	62	58	2–85
Ti	mg/kg	0,29	0,9	0,6	nincs megadva
Sb	mg/kg	251	87	169	50–10 000
As	mg/kg	4,4	8,3	6,4	20–50
Pb	mg/kg	564	1300	932	1100–11 000
Cr	mg/kg	45	140	93	1000–1800
Co	mg/kg	1,9	36	18,9	13–33
Cu	mg/kg	547	24 000	12 274	3700–26 300
Mn	mg/kg	33	260	147	360–1100
Ni	mg/kg	53	200	127	400–1500
V	mg/kg	1	4	2,6	20–150
Sn	mg/kg	22	30	26	130–400
Összesen Sb–Sn	mg/kg		26 130	13 854	nincs megadva
Zn	mg/kg	529	1 400	964	4600–20 000

2. táblázat

Az autóbontásból (A) és az elektromos készülékek aprításából (E) származó maradékok közötti különbségek

Összetevők	E	A
Cl	Nagyobb, mint az A-ban	Átlag (1 %(m/m))
Br	Nagyobb vagy igen nagy	Alig van jelen
Pb	Mint az A-ban	Nagy
Sb	Nagy	Gyakorlatilag nincs
Hg, Cd	Az előzetes kezeléstől függően	
PCB, PXDD/F	Mindkettő jelen van	PCB, minimális PXDD/F

3. táblázat

Szerves halogének mennyiségének ellenőrzése

2004 évi minta	1. maradék (REST 1) durva			2. maradék (REST 2) finom	Keverék számítva 50/50	Előírás	Törvény	
	könnyű 1,0–1,12	átlagos 1,12– 1,22	nehéz 1,22– 1,44				Határérték	
PCB mg/kg	nincs megadva	12,3	23,8	39,1	22,8	PCB-AbfV	50	
PentaBDE mg/kg	nincs megadva	2,1	30,8	153	79,3	Irányelv 2003/11/EC	1000	
OctaBDE	nincs megadva	585	1070	303	299		1000	
Penta-Octa-BDE	nincs megadva	1509	2733	971	863			
DecaPDE mg/kg	nincs megadva	906	1330	1400	901	nem elemezték		
PBDE (Tri-Deca) mg/kg	nincs megadva	3170	5093	2932	2206	RoHS	nem áll rendelkezésre	
PBrDD/F (Összesen Tetra-Octa) mg/kg	nincs megadva	1,78	3,66	2,51	1,74			
PB-DD/Fs 4Kongenere 2378 µg/kg	nincs megadva	1,29	2,55	4,39	2,54	CW	1	
PBrDD/Fs 8Kongenere 2378 µg/kg	nincs megadva	1,58	4,84	5,6	3,36	CW	5	

Az együttes elégetés vizsgálati eredményei

Az alábbiakban az együttes elégetés legfontosabb vizsgálati rész-eredményeit mutatjuk be.

Levegőszennyezés

A várakozásoknak megfelelően a nyers füstgázban a HCl koncentrációja a kiselejtezett villamos készülékek feldolgozásakor keletkező maradékok együttes elégetésekor alig változott (4. táblázat). Ezzel szemben a HBr-koncentráció megnőtt. Ugyanakkor a levegőt károsító savas gázok összkoncentrációja változatlanul a normál üzemnek megfelelő határok között ingadozott. A nyers füstgáz kén-dioxid-koncentrációja alig változott, ennek megfelelően – a tisztított füstgáz összetételének ellenőrzési eredményei szerint – szennyezettségének mértéke is változatlan maradt.

4. táblázat

HCl- és HBr-koncentráció a nyers és a tisztított füstgázban
(félórás középérték)

	AI	B1/B2	C1/C2	E	Határérték
Nyers füstgáz					
HCl, mg/m ³ (würzburgi égető)	1366	1480/1482	1310/1254	1790	
HBr, mg/m ³ (külső intézet mérése)	9	143/176	120/104	283	
Tisztított füstgáz					
HCl, mg/m ³	8	13/7	184/87/99*	7	10
	éves (2003) átlag: 6,37				
HBr, mg/m ³ (külső intézet mérése)	0	1/3	5,3/3	4	

*A mészadagolás nem elegendő. Lásd a szövegben a magyarázatot.

A C kísérleti fázisban a mészadagolásban rövid ideig üzemzavar állt be, aminek okát nem tudták azonnal felismerni. Ennek során bebizonyosodott, hogy a füstgáztisztító rendszer meglepően türelmesen reagált, és a normálüzemnek megfelelően viselkedett. Kiderült, hogy az üzemzavar

nem volt összefüggésben a kísérleti üzemeltetéssel, hanem egy mechanikus alkatrész váratlan meghibásodása okozta a kiesést.

A kísérlet megismétlésekor ismét azt az eredményt kapták, hogy az együttes elégetés során levegőszennyezés szempontjából lényeges változás nem lépett fel. A mérési adatok a szokásos határok között ingadoztak.

A rostélyhamu kilúgozási eredményei

A kilúgozási kísérleteket és az ehhez szükséges mintavételezést a vonatkozó szabványelőírásoknak megfelelően végezték. A legfontosabb vizsgálati paramétereket az 5. táblázat közli.

5. táblázat

Kilúgozási kísérletek

	Németország DIN EN 38414-4	Európa EN 12457-1	Hollandia		USA TCLP mód- szer 1311
			NEN 7341 használható- sági vizsgálat	NEN 7341 kollonnás vizsgálat	
Anyag	friss és tárolt rostélyhamu	friss és tárolt rostélyhamu	friss és tárolt rostélyhamu	friss és tárolt rostélyhamu	vegyes és rostélyhamu
Szemcseméret	<40 mm	<4 mm	<0,125 mm	<4 mm	<9,6 mm
Az egyes műveletele- mek száma	1	1	2	7	1
L:S	10	2	50 + 50	0,1; 0,1; 0,3; 0,5; 1; 3, 5	20
Kilúgozási közeg	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O + HNO ₃	H ₂ O + HNO ₃ (pH 4)	H ₂ O + CH ₃ CH ₂ OOH (pH 2,88)
Végső pH	nincs ellen- őrizve	nincs ellen- őrizve	7 és 4	nincs ellen- őrizve	nincs ellen- őrizve
Idő	24 h	24 h	3 h + 3 h	kb. 3 hét	16 h

A német és az európai vizsgálatok között a folyékony és szilárd alkotó aránya (L:S), valamint a megengedett maximális szemcseméret szempontjából van különbség. Az eredményeket azokkal az irányadó és határértékekkel lehet összehasonlítani, amelyek az értékelési, ill. a depóniára juttatási módszerektől is függenek.

A holland ellenőrző vizsgálatok (használhatósági és kolonnás vizsgálatok) lehetővé teszik annak becslését, hogy hogyan viselkedik a rostélyhamu hosszú távon a legkedvezőtlenebb körülmények között, valamint az L:S arány növekedésekor.

Az amerikai TCLP-vizsgálat eredményeivel való összehasonlítás módot nyújt arra, hogy a hamut veszélyesnek vagy veszélytelennek minősítsék. Az ellenőrző vizsgálatokat valamennyi maradéktípusból összeállított keverékkel elvégezték. Ezt az indokolja, hogy az USA-ban a hamut vegyes eredetű hulladékokat befogadó depóniákra küldik.

A német DIN 38414-4 szerinti vizsgálat (DEV S4)

A 6. táblázat közli a friss és a tárolt rostélyhamu német DIN-szabvány szerinti vizsgálatának eredményeit.

6. táblázat

A tárolt rostélyhamu DIN 38414-4 szabvány szerinti kilúgozási vizsgálatának eredményei

	pH	Villamos vezetőképesség, mS/cm	Cr mg/l	Ni mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	As mg/l	Cd mg/l	Hg mg/l	Pb mg/l	Cl mg/l	Br mg/l	Szulfát, mg/l
Tárolt rostélyhamu													
Al	11,2	2,9	35,6	15,8	263	9,60	<10	<5	n.e.	<10	293	<0,5	1150
B1/2	10,5	2,2	55,5	11,8	336	15,7	<10	<5	n.e.	<10	351	12,9	548
C1/2	11,6	2,2	<10	9,78	11,1	34,2	<10	<5	n.e.	<10	320	6,53	348
A2	11,2	1,7	28,4	12,3	420	16,0	<10	<5	n.e.	<10	276	<0,5	273
1. depónia osztály	5,5–13	10	50	200	1000	2000	200	50	5	200	–	–	–

n.e. = nincs elemezve.

A tárolási idő, az előírásoknak megfelelően, 12 hét volt. A hamumintákat laboratóriumi edényekben tárolták, és rendszeresen mesterséges esővízzel öntözték. Mivel reális körülmények között több tonna hamut tárolnak, ezért a kísérletek során nem érvényesülhettek mindazok a kémiai és ásványtani reakciók, amelyek ilyen tömeges tárolás következtében fellépnek. A rostélyhamu változásaira vonatkozó megállapítások tehát csupán becslésként foghatók fel.

Németországban a friss rostélyhamut csak az erre a célra kijelölt depóniákon lehet tárolni. Ugyanakkor a települési hulladéokra vonatkozó hivatalos előírásokat is be kell tartani.

A 6. táblázat hasonlítja össze a DIN 38414-4 vizsgálatok eredményeit a szabvány szerinti 1. depóniaosztályra vonatkozó határértékekkel. A legtöbb nehézfém koncentrációja a határértékeken belül maradt. Csúpan az ólomkoncentráció nagyobb, mivel a kilúgozott folyadék pH-értékei megemelkedtek. Az ilyesmi azoknak a hamuknak az esetében, amelyeket közvetlenül a mintavétel után kimosnak, normális. Az irodalomból közismert, hogy a pH-érték néhány nap múlva lecsökken, és a hamuban lévő nehézfémek, különösen a Pb, stabilizálódnak. Amennyiben az ilyen hamu megfelel a mélyépítési szabályzatnak, akkor az előírások szerint háromhavi tárolás után, például útépitési építőanyagként használható fel.

Az eredmények azt mutatják, hogy tárolás után a Pb oldhatósága jelentős mértékben lecsökken. Ezzel szemben a Cu oldhatósága a C1/2 és az A2 mintákban még három hónap múlva is nagyobb, mint ahogy azt az építőanyagokra vonatkozó szabályzat megengedi. Ugyanez vonatkozik az A1 mintában lévő szulfátkoncentrációra is.

Az A1, A2 referenciaminták és a vegyes összetételű hulladék elégetése után visszamaradt rostélyhamu közötti különbség nem jelentős. Ez annyit jelent, hogy az EAM anyagok együttes elégetése nem befolyásolja a rostélyhamu kimosódási stabilitását.

Az európai EN 12457-1 vizsgálat

Az EN 12457 vizsgálati módszernek négy változata van. A negyedik lehetőség nagyon hasonlít a német DIN 38414-4 vizsgálati eljárásra. Az összehasonlító vizsgálatok céljaira az első változatot választották, amelyik eltérő folyadék/szilárd anyag arányt vesz figyelembe. Eredményeit a 7. táblázat közli.

A depóniákra 2005 júliusa óta érvényes kritériumok szerint a különböző depóniaosztályokra eltérő határértékek vonatkoznak, amelyek az alkalmazott kilúgozási vizsgálatról függően is változnak. Néhány nehézfém és anion koncentrációjára meghatározott érték nagyobb, mint a semleges hulladékokra vonatkozó határérték, azonban a veszélytelen hulladékok depóniáira érvényes valamennyi határértéket be lehet tartani. Ennél a vizsgálatnál sem lehetett tapasztalni, hogy az EAM anyagok közös elégetése befolyásolta volna a vizsgálati eredményeket.

7. táblázat

A tárolt rostélyhamun EN 12457 szerint végzett vizsgálat eredményei

	pH	Villamos vezető-képesség, mS/cm	Cr µg/l	Ni µg/l	Cu µg/l	Zn µg/l	As µg/l	Cd µg/l	Hg µg/l	Pb µg/l	Cl mg/l	Br mg/l	Szulfát, mg/l
Tárolt rostélyhamu													
Al	9,76	7,0	45,6	24,3	577	12,0	<10	n.e.	n.e.	69,2	1720	5,72	2020
B1/2	9,84	6,4	141	28,9	965	20,1	<10	n.e.	n.e.	25,6	1750	64,8	1650
C1/2	8,41	5,9	<10	18,6	91,2	20,1	<10	n.e.	n.e.	15	1650	28,6	1470
A2	8,66	5,3	57,3	23,5	1320	23,6	<10	n.e.	n.e.	125	1320	6,39	1350

n.e. = nem elemezték.

Holland vizsgálati eredmények

A 8. táblázatban a tárolt rostélyhamura vonatkozó holland vizsgálati eredmények láthatók.

8. táblázat

A tárolt rostélyhamu holland használhatósági vizsgálatainak eredményei

	Cr mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	As mg/kg	Cd mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg
Al	4,65	7,08	54,8	287	<1	n.e.	n.e.	3,40
B1/2	3,88	5,34	217	190	<1	n.e.	n.e.	6,92
C1/2	2,15	2,11	73,0	118	<1	n.e.	n.e.	9,63
A2	2,17	2,82	71,7	126	<1	n.e.	n.e.	6,97

n.e. = nem elemezték.

Ebben az esetben sem tapasztalható, hogy különbség volna a referenciavizsgálatok és az együttes égetés vizsgálati eredményei között.

USA vizsgálatok

Az Egyesült Államokban a rostélyhamut a pernyével és a füstgáz-tisztítási termékekkel közösen deponálják, ezért ezt a vizsgálatot ezekből a maradékanyagokból álló keveréken végezték. A TCLP-vizsgálat feladata a hulladék minősítése aszerint, hogy az veszélyes vagy veszélytelen. Az eredményeket a 9. táblázat foglalja össze.

9. táblázat

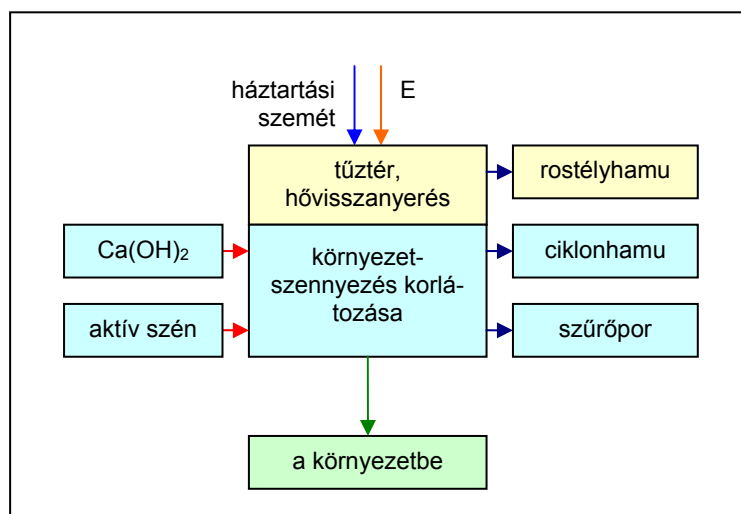
Az USA EPA TCLP 1311 sz. módszerrel, vegyes származású hamu esetében végzett vizsgálat eredményei

Vegyes hamu	Cr mg/l	Ni mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	As mg/l	Se mg/l	Ag mg/l	Cd mg/l	Ba mg/l	Hg µg/l	Bp mg/l
Al	0,10	0,58	5,49	82,3	<0,01	<0,02	<0,02	0,78	0,21	0,33	2,78
B1/2	0,23	0,38	13,9	56,3	<0,01	<0,02	<0,02	0,88	0,22	<0,1	5,87
C1/2	0,13	0,51	13,0	71,6	<0,01	<0,02	<0,02	1,02	0,09	0,66	4,01
A2	0,08	0,39	3,93	49,8	<0,01	<0,02	<0,02	0,73	0,21	0,23	0,51

A kilúgozási mintákban csupán a Cu-tartalom vizsgálatakor állapítottak meg fokozott nehézfém-koncentrációt (amit viszont az amerikai Környezetvédelmi Hatóság, az EPA nem szabályoz), továbbá a B1/2 mintában volt a Pb-koncentrációja valamivel nagyobb, mint az EPA határérték.

Anyagtömegek

A valamennyi be- és kilépő anyag szállítási rendeltetését feltüntető vázlat (3. ábra) alapján lehet a lebomlási számításokat elvégezni.



3. ábra Anyagáramlási vázlat
(E = elektronikus hulladék aprítási maradéka)

A károsító anyagok lebomlási hatékonysága

Azokat a kiselejtett villamos készülékeket, amelyekben bizonyos káros anyagok lehetnek, a környezet veszélyeztetése nélkül kell haszno-

sítani vagy ártalmatlanítani, ezért ezeknek a vizsgálatoknak egyik legfontosabb célja annak igazolása volt, hogy az együttes elégetéssel rendkívül hatékonyan lehet elérni a veszélyes szerves halogének lebomlását. Ilyen anyag például a PCDD/Fs, amely 80%-ot meghaladó mértékben roncsolódik. A maradék hulladékban lévő lánggátló anyagok (PBB, penta és octa-PBDE) következtében számítani kell a PCB, valamint a brómozott dioxinok és furánok képződésére, amelyek viszont hatékonyan lebonthatók.

Nemcsak a szerves anyagok formájában jelenlévő káros anyagok lebontási hatékonysága fontos, hanem gondolni kell az újonnan képződő szerves anyagok, valamint a füstgáztisztító berendezésekben visszamaradó nehézfémek koncentrációjának növekedésére is. Ezek eltávolításáról úgy lehet gondoskodni, hogy sóbányák üregeinek tömedékelésére használják fel a maradékokat. A lényegesen kisebb környezeti ártalmat jelentő salakokat, megfelelő műszaki biztonsági intézkedések betartásával, építőanyagként lehet egyes létesítmények esetében hasznosítani.

Az ilyen esetekre vonatkozó számításokat saját mérési eredmények vagy hatósági megállapítások alapján lehet végezni.

Az eredmények összefoglalása, további feladatok felvázolása

- A kiselejtezett elektromos és villamos készülékekből származó maradék hulladékok együttes elégetése a würzburgi hulladékégetőben a berendezés szempontjából problémamentesen oldható meg. Az autóbontásból és a villamos készülékek szétbontása után visszamaradó aprítási hulladékok részaránya, technológiai okoknál fogva, ne haladja meg a 7–10%-ot. Ezt elégetés előtt megfelelő mértékben be kell keverni a máshonnan származó hulladékokba.
- A készülékházak és egyéb szerkezeti elemek anyagában lévő brómozott lánggátló adalékok, az említett korlátozott mérték közös elégetés esetében, nem okoznak problémát. (A kísérletek során százalékos mennyiségük háromszorosra növelésekor sem tapasztaltak nehézséget). Az ilyen vegyületek lebontása, az adott égetési feltételek között, igen biztonságosan megy végbe.
- A füstgázok lehűlésekor keletkező, problémát jelentő anyagok (pl. poliklórozott, halogénezett dioxinok és furánok) mennyisége kisebb, mint a kiindulási anyagokban. A száraz füstgáztisztítással pedig a megszokott kedvező eredmények érhetők el.

- Az elégetés után visszamaradó anyagok minősége és hasznosíthatósága nem változik meg hátrányosan. A nehézfém mennyisége a szokott határok között marad. Környezetvédelmi szempontból a hulladékégetésből visszamaradó anyagok (salakok és füstgáztisztítási maradékanyagok) tartósan kivonhatók a bioszférából.
- A kiselejtezett villamos készülékek szemétegetőben való megsemmisítésének mindenekelőtt a károsító hatású higany és kadmium szempontjából van értelme. Tekintettel a fokozott higany- és kadmiumkoncentrációval kapcsolatos bőséges tapasztalatokra, a füstgáztisztításból visszamaradó megnövekedett koncentráció problémájával ez alkalommal nem foglalkoztak. Meg kell azonban említeni, hogy a Ni-Cd galvánelemek esetében gondoskodni kell azok minél nagyobb szétbontásról.
- Amennyiben nehézséget okoz a kiselejtezett villamos készülékek szétszerelése, viszonylag gazdaságos megoldást jelent ezek felaprítása nagyméretű aprítóberendezésben, hogy biztosítani lehessen a fémtartalom visszanyerését. Ilyenkor ügyelni kell arra, hogy előzetesen a készülékből eltávolítsák a higanyt és a PCB-anyagot (kondenzátorokat). Ezután elvégezhető a maradék ártalmatlanítása hulladékégetőben.
- A keletkező salakban lévő színesfém hasznosítása szempontjából (D kísérlet) megállapították, hogy amennyiben az együtt elégetett anyagkeverékben a villamos készülékek hulladékának aránya nem haladja meg a 10%-ot, az eljárás nem gazdaságos. Ezért a salakban lévő színesfém gazdaságos kinyerése érdekében az elektromos hulladék részarányát 25-30%-ra kell emelni.

Összeállította: Dr. Barna Györgyné

Mark, F. E.; Dresch, H.; stb.: Mitverbrennung von Reststoffen aus der Verwertung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten im MHKW Würzburg 2004. = Müll und Abfall, 38. k. 1. sz. 2006. p. 27–34.

Treder, M.; Salamon, A.: Energetische Verwertung von niederkalorischen Restabfallfraktionen in einer MVA. = Müll und Abfall, 37. k. 3. sz. 2005. p. 131–136.

Sabbas, T.; Poletini, A. stb.: Management of municipal solid waste incineration residues. = Waste Management, 23. k. 1. sz. 2003. p. 61–88.