SZILIKÁTTUDOMÁNY

Hulladékok mintavételezése és mérése, különös tekintettel a cementgyári együttégetésre

Leskó Gábor

Témavezető: Csőke Barnabás

Miskolci Egyetem Eljárástechnikai Tanszéke

Waste sampling and analysis in case of co-processing in the cement industry

However there are lots of practical experience and standard available on waste sampling and analysis it is always a challenge to determine physical and chemical characteristics of the waste materials. Main reason is that wastes from different industrial sectors or municipalities are often inhomogeneous and/or have such properties which need special equipment, sampling process or analytical methods.

Waste analysis has an important role in co-processing where different types of wastes are used in the cement production technology as alternative fuels or raw materials to substitute non-renewable natural resources. It is necessary to know properties of the input materials at a cement plant because secured production process, excellent product quality, fulfilling of environmental or health and safety requirement is essential.

In most cases waste materials have to be pre-treated before it goes to a cement kiln, because granulometry, moisture content,

stickiness, heavy metal- or halogen content etc. of the waste are often not fit with the requirements of the cement plant or it can fluctuate in wide range. Sometimes this task can be solved by special feeding system installations in the cement plant (e.g. mixing tanks for waste oils). Usually this solution is not enough for solid or pasty wastes so pre-treatment plant has to be established where homogenous alternative fuels and raw materials can be produced from different types of waste with shredding, mixing, screening or impregnating technologies. For the proper mixture it is necessary to analyse the incoming wastes and the output mixture has to be also continuously measured to monitor the efficiency of the pre-treatment process.

This article tries to give a short overview on waste sampling and sample preparation as a key issue of quality control in case of co-processing. Analytical methods for determination of physical and chemical properties of different types of wastes are also part of this summary. It is also obvious that data management has to be mentioned as inseparable part of the quality control process.

Bevezetés

A hulladékok összetételének, fizikai-kémiai tulajdonságainak valóságát tükröző meghatározása régóta komoly fejtörést okoz a szakembereknek annak ellenére, hogy már számos gyakorlati tapasztalat, illetve hazai és nemzetközi szabvány áll rendelkezésre ezen a területen. Ennek legfőbb oka, hogy a különféle ipari technológiákból vagy lakossági tevékenységből származó hulladékok természetüknél fogva legtöbbször inhomogének és/vagy olyan tulajdonságokkal rendelkeznek, melyek vizsgálatáért speciális műszereket, illetve mérési módszereket igényel.

A hulladékok vizsgálatának fontos szerepe van a cementgyári együttégetéskor, ahol különféle hulladékokat használnak fel a klinker előállításához, primer természeti erőforrások helyettesítésére. A gyártási technológia zavarhatósága, a termékminőség biztosítása, a környezetvédelmi előírásoknak történő megfelelés, valamint az egészség- és biztonságvédelmi követelmények betartása miatt a hulladékok jellemzőinek ismerete érthető módon kulcsfontosságú. A minőség-ellenőrzés két sarkalatos pontja a hulladékok

mintavételezése és a minták elemzése. E cikk rövid áttekintést kíván nyújtani erről a két területről, elsősorban a cementgyári együttégetés szempontjainak figyelembevételével.

A hulladékok cementgyári felhasználásuk előtt legtöbb esetben előkészítést igényelnek, mivel a szigorú követelmények között működő cementgyártási technológiába csak megfelelő homogenitású, minőségű és ismert összetételű anyagokat lehet bevenni. Az előkészítési feladatokat néhány hulladéktípus esetében a cementgyárban kiépített fogadó- és adagolórendszerek is el tudják látni (pl. keverőtartályok stb.). Sok esetben azonban ez már nem elegendő, ezért külön előkezelő telepet létesítenek, ahol több különböző összetételű hulladékból – például aprítási, keverési, rostálási vagy impregnálási művelettel – cementgyári felhasználásra alkalmas, homogén helyettesítő anyag állítható elő. A megfelelő receptúra összeállításához természetesen ismerni kell a beérkező hulladékok összetételét, valamint az előkészítés hatékonyságának ellenőrzése és a cementgyári követelmények betartása érdekében az előkészített anyagokat is folyamatosan vizsgálni kell.

Mérések pontossága

A mérések a mintavételezéssel kezdődnek, melyet a minta-előkészítés és az adatfeldolgozás követ. A mérések pontosságával kapcsolatban, elöljáróban érdemes elgondolkodni a következő arany szabályon: „Minta nélkül nem lehet elemzést végezni, megfelelő minta hiányában viszont nem érdemes.” Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy ha már a mintavételkor hibát vétünk, akkor nagyon csekély az esély arra, hogy az eredmények visszatükrözik majd a valós összetételt, mely a további felhasználásra nézve komoly problémákat eredményezhet. A mintavételezésen kívül a folyamatnak vannak még gyenge pontjai, hiszen a minta-előkészítés, sőt az adatok feldolgozása során is adódhatnak hibák. A teljes mérés pontosságát az alábbi statisztikai módszer szerint tudjuk megbecsülni:

$$S_{teljes} = \sqrt{(S_1^2 + S_2^2 + S_N^2)}$$

ahol

- S_1 : a mintavételezés hibája,
- S_2 : a minta-előkészítés hibája,
- S_N : az adatfeldolgozás hibája.

A képletből is kitűnik, hogy ha például a mintavételezéskor hibát követünk el, azt nem tudjuk a későbbiekben már kompenzálni, például még precízebb minta-előkészítéssel vagy adatfeldolgozással. Más szavakkal: amennyiben valamelyik részfeladat hibája döntően kihat a teljes mérés hibájára, nincs értelme a többi lépés pontosságát növelni, hiszen a mérés egész folyamatára nézve nem lesz érezhető javulás. A fentiek alapján következtetésként levonható, hogy a megfelelő mérési eredmény elérése érdekében a mintavételezés, a minta-előkészítés és az adatfeldolgozás pontosságára azonos figyelmet kell fordítani, és a hibákat a lehető legkisebb mértékűre kell szorítani.

Mintavétel, minta-előkészítés

Mivel gazdasági és műszaki okokból a több tonnás halmazok összetételét végső soron néhány gramm átlagminta elemzésével határozzák meg, ezért a mintavételezés megtervezésekor az alábbi szempontokat és irányelveket célszerű szem előtt tartani.

- Az átlagminta elkészítéséhez több mintát kell venni a halmaz különböző részeiből.
- Ügyelni kell arra, hogy a hulladékmennyiség minden része és szemcsemérete egyenlő valószínűséggel kerüljön megmintázásra.
- Az egyes minták minimális mennyiségének meghatározásakor figyelembe kell venni a különböző szemcseméretű részek eloszlását, különös tekintettel a legnagyobb szemcseméretre.
- A mintavétel gyakoriságának meghatározásakor figyelembe kell venni a halmaz mennyiségének változását,

mivel a részminták kivételekor értelemszerűen az egész halmaz tömege lecsökken.

- A kivett minták minden méretcsökkentésekor (apritás, őrlés stb.) számolni kell újabb hibalehetőséggel.
- A minta-előkészítés során el kell kerülni a minta megváltozását (pl. finom porszemcsék elvesztése vagy szennyeződések megjelenése).

A mintavétel során számolni kell jó néhány hibaforrással. Az egyik tipikus hibalehetőség az ún. alaphiba, melyet a hulladékban lévő egyes szemcsék összetételének változása okoz. E hibalehetőség csökkentésének módszere lehet például a minta mennyiségének növelése, vagy a szemcseméret csökkentése. Másik gyakori hibaforrás a részecskék szegregációjából, csoportosulásából adódik. Ebben az esetben célszerű minél több összeállt, illetve különvált részt mintaként kiemelni, majd megfelelő módon homogenizálni. A minta tárolása és szállítása során szintén számos hibalehetőség adódik. Mindenekelőtt el kell kerülni, hogy a mintavétel során szennyeződések kerüljenek a mintába, vagy a tárolás, illetve szállítás során az illékony komponensek eltávozzanak. Megfelelő védelemmel ügyelni kell az esetleges kémiai átalakulásokra is, valamint körütekintően kell eljárni az egyes mintatároló eszközök megjelölésekor, valamint a súlymérés és a dokumentálás során.

A mintavétel gondos megtervezésekor a fent felsorolt, általánosan előforduló hibalehetőségeken kívül egyéb problémák is adódhatnak, melyekre érdemes odafigyelni. Gondot okozhat például a tárolótartályokhoz, szállítójárművekhez, konténerekhez, készletekhez való hozzáférés, mely esetenként drasztikusan leronthatja a mintavétel reprezentativitását. Folyékony hulladékok esetén gyakori a szilárd szennyező részecskék jelenléte, mely szintén zavarhatja az összetétel helyes meghatározásához szükséges mintázást. A mintavételt végző személy képzettsége, gyakorlata és hozzáállása ugyancsak fontos faktor. A mintavételezőt minden esetben el kell látni írásos utasításokkal, melynél figyelembe kell venni az anyag mennyiségét, halmazállapotát (folyékony, szilárd, iszapos), a szállítás módját, a toxicitását, illetve az egészség- és biztonságvédelmi kockázatokat. Az utasításokon kívül a mintavételező személyt oktatásban kell részesíteni, és a kockázatoknak megfelelően el kell látni a szükséges védőfelszerelésekkel (kesztyű, védőszemüveg, pormaszk stb.).

A mintavételhez természetesen megfelelő mintavevő készülék is szükséges, melyet az anyag jellegétől függően kell megválasztani. Folyékony hulladékok esetében például alkalmazhatunk alumínium, illetve réz mintavevő csövet, mely egyik végén gömbszeleppel van ellátva (1. ábra), vagy esetleg dugattyús szivattyút. Használunk még széles bemeneti nyílású alumíniumedényeket (1, 5, 10 liter), illetve műanyag palackokat (250, 500, 1000 ml), melyek iszapos és szilárd hulladékok esetében is alkalmazhatók. Utóbbi esetben széles körben elterjedt az ún. tőzeg mintavevő, illetve a fűrész mintavevő (2. ábra),

1. ábra. Gömbszelepes mintavevő cső folyékony hulladékok mintavételére

Sampling tube with ball valves for liquid wastes

de hasznos lehet egy hosszú és rövid nyelű, 0,5–1 literes alumíniumkanál vagy műanyag zacskó is.

A napi gyakorlat során a mintákat előkészítésük után gondosan felcímkézett, zárt edényekbe helyezik, melyeket erre a célra létesített külön helyiségben tárolnak. A tárolóhelyiséget a laboratóriumhoz közel célszerű kialakítani. A napi be- és kiszállítások ellenőrzése érdekében a mintákat legalább három hónapig érdemes megtartani, illetve a hatóságok által megkövetelt referenciamintákat sok esetben évekig meg kell őrizni.

2. ábra. Tőzeg mintavevő és fúró mintavevő iszapos és szilárd hulladékok mintavételére

Peat sampler for pasty and solid wastes

A mintavételezés és a minta-előkészítés szempontjából talán a települési szilárd hulladékok jelentik a legnagyobb kihívást, hiszen összetételük meglehetősen változatos, melyet nagyon sok paraméter befolyásol (lakossági szokások, évszak stb.). Cementgyári együttégetés szempontjából nem annyira lényeges ez a terület, viszont érdemes megemlíteni, hogy a Miskolci Egyetem Eljárástechnika Tanszék közreműködésével a napokban születik meg az a két hazai szabvány, mely a települési szilárd hulladékok mintavételezésével (MSZ 21976-1), illetve a minta-előkészítéssel, valamint összetételének meghatározásával (MSZ 21976-2) foglalkozik.

A hulladékok jellemzői és mérési módszereik

Az előkészített minták teljes körű elemzése általában csak egy új hulladékforrás minősítése esetén szükséges. A minősítési folyamat során a mérési eredmények bekerülnek egy adatbázisba, melynek segítségével meghatározható, hogy az adott anyag kielégíti-e a termékminőségi, gyártástechnológiai, egészség- és biztonságvédelemi, valamint környezetvédelemi előírásokat. A hulladékok egyes jellemzőinek hatásait az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat

Hatásmátrix (hulladékok tulajdonságainak hatásai)

Relevance matrix (impacts of waste properties)

Paraméter	Termék-minőség	Gyár	Egészség- és biztonságvédelem	Környezet
Viszkozitás / sűrűség		x		
pH		x	x	
Lobbanáspont		x	x	
Szilárdanyag-tartalom		x		
Fűtőérték		x		
Víztartalom		x		
Hamutartalom	x	x		
Radioaktivitás	x		x	x
Kén	x	x		x
Halogének	x	x	x	x
Nehézfémek	x		x	x
Alkáliák	x	x		
Szervesanyag-tartalom			x	x
Szemcseméret		x		

A minősítést követően a rendszeres beszállítások esetén mindenre kiterjedő vizsgálat már általában nem indokolt. Az előírások és az adott hulladékforrás ismeretében meghatározhatók a rendszeresen mérendő kritikus paraméterek és a szűrőpróbaszerűen vizsgálandó jellemzők. Például egy oldó-

szer hulladék esetében nincs értelme minden szállítmányban megvizsgálni a nehézfém-tartalmat vagy a viszkozitást, mivel a hulladék jellegénél fogva ezek a paraméterek nem jelentenek kockázatot. A fűtőérték, lobbánypont vagy a klórtartalom elemzése viszont szükségszerű, hiszen ezek a paraméterek oldószerek esetében jelentős hatást gyakorolhatnak.

A cementgyári együttműködéshez kapcsolódóan az alábbiakban foglalhatók össze röviden a hulladékok termékmínőségi, technológiai, környezetvédelmi, egészség- és biztonságvédelmi szempontból lényeges kémiai, fizikai paraméterei és azok gyakorlatban alkalmazott mérési módszerei, valamint a minta-előkészítéshez szükséges készülékek.

A hulladék kémiai jellemzőinek meghatározása

Az előkészített hulladékmintákban a *klórtartalom* mérését potenciometriás elven működő mérőműszerrel végzik, míg a *víz-tartalom* meghatározását térfogatméréses Kar–Fischer-módszerrel mérik. A készülékek kaphatók külön-külön, illetve egybeépítve is. Folyadékminták *halogén-, cianid- és ammóniameghatározására* rendszerint ion-szelektív elektródokat alkalmaznak, melyek az ion-szelektív elektródon kívül egy referenciaelektrodot és egy feszültségmérőt tartalmaznak. Éghető anyagokban lévő *kéntartalom* meghatározására a kalorimetriás vizsgálat maradékanyagát felhasználva több módszer is lehetséges, például gravimetriás mérés, titrálás, spektrofotometriás vagy ionkromatográfiás elemzés. Nem éghető anyagok esetében a kéntartalom mérése speciális kénelemző készüléket igényel, mely nagy hőmérsékletű égést követően infravörösdetektor segítségével végzi el az elemzést. Alternatív megoldásként lehetőség van még a cementgyárakban általában megtalálható röntgendiffrakciós (XRF) készülék használatára is, mely elsősorban inkább a hamuban található *fő oxidos összetevők* meghatározására alkalmas (CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Na₂O, TiO₂, SO₃, P₂O₅, Cl, Mn₂O₃, MgO). Szilárd nyersanyagok esetén a *szervesanyag-tartalom* vizsgálatára szénelemző készüléket használhatunk, mely a kénelemzőhöz hasonló elven működik. A minta-előkészítés során savas feltárás (sósav, foszforsav) ajánlott a zavaró karbonátos komponensek kiküszöbölése érdekében. A különböző *anionok* (CN⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻) és az *ammónia* mérését hagyományos UV vagy látható fény elnyelésének elvén működő spektrométerrel végezhetjük el. A *nehézfémek* mérésére korábban atomabszorpciós spektrométereket (AAS) használtak, a technika fejlődésének köszönhetően ma már inkább az ICP (induktív csatolású plazmaégő) készülékek terjednek, mivel szemben a másik módszerrel ezek a mérőberendezések szimultán és gyors elemzést tesznek lehetővé. Az ICP készülékek lehetnek optikai emissziós- (ICP-OES) vagy tömegspektrométerrel (ICP-MS) felszerelve. Ez utóbbi hátránya, hogy igen magas a beruházási költsége, és a kezelése nagyobb szakértelmet igényel. A tallium

és a higany esetében az alacsony koncentrációk miatt az ICP-hez hidrid-generátor segédberendezés használata is ajánlott, illetve higany esetében a legjobb megoldás az atomabszorpciós készülék. Alternatív nyersanyagok esetében a *nitrogéntartalom* gyors és problémamentes meghatározására az ún. Kjeldahl-készüléket alkalmazzák. A *szerves anyagok és a PCB* elemzése a nehézfémekhez hasonlóan meglehetősen drága berendezést igényel. Erre a célra gázkromatográfiás módszert alkalmaznak, mely egy igen elterjedt fizikai elválasztási módszer, ahol az elválasztandó komponensek tulajdonságaik alapján megoszlanak egy rögzített és egy mozgó fázis (gáz) között. Az elektronbefogásos detektorral felszerelt gázkromatográf (GC-ECD) PCB vagy más klórozott szénhidrogén elemzését tudja elvégezni, a lángionizációs detektorral rendelkező berendezés (GC-FID) pedig csak mennyiségi és összehasonlító vizsgálatra képes, vagyis ismeretlen vegyület azonosítására nem alkalmas. A PCB-k és más ismeretlen vegyületek mennyiségi és minőségi meghatározására súlyszelektív detektorral felszerelt gázkromatográfot (GC-MSD) célszerű vásárolni, melynek költsége azonban háromszorosa-négyszerese a másik két detektorral rendelkező készüléknek.

A hulladékok fizikai jellemzőinek meghatározása

A fizikai paraméterek közül az egyik legfontosabb paraméter a *fűtőérték*, melynek meghatározására különféle kézi vagy félautomatikus adiabatikus rendszerek, kaloriméter-bombák állnak rendelkezésre. A kaloriméter-bombák előnye, hogy a maradék anyagból könnyen meghatározható a hulladék *halogéntartalma és klórtartalma*, mely korábban már említésre került. A *lobbánypont* mérésére szintén egyszerű kézi és félautomatikus készülékeket lehet alkalmazni, melyek Abel–Pensky-, Pensky–Martens- vagy Cleveland-elven működnek. Szobahőmérsékletnél alacsonyabb lobbánypontú anyagok esetén (pl. oldószerek) zárt tégelyű, hűtött készülék használatos. A *pH-érték* meghatározása viszonylag egyszerű, többféle analóg és digitális készülék áll rendelkezésre, melyek sok esetben más készülékekbe integrálva jelennek meg a piacon. A *sűrűség* mérése viszonylag könnyen elvégezhető, az erre szolgáló készülék tulajdonképpen egy üres cső, melyet meghatározott frekvenciával rezegtetnek. Amikor a minta belekerül a csőbe, a frekvencia a sűrűséggel fordított arányban változik, így a frekvencia megváltozásából meg lehet határozni a sűrűséget. A jobb sűrűségmérők fel vannak szerelve beépített Peltier-termosztáttal, mely szabályozza a hőmérsékletet. A *radioaktivitás* ellenőrzésére legtöbb esetben egy hordozható sugárzásmérő vagy szcintillátor elegendő. Szilárd hulladékok esetében a *nedvességtartalom* gyors és hatékony meghatározására szárítószekrények segítségével termogravimetrikus és precíziós súlymérési technológiát alkalmaznak.

A gyors és hatékony *mintafeltáráshoz* mikrohullámú kemencéket alkalmaznak, melyek például a nehézfémek ICP spektrométeres elemzésnél gyakorlatilag nélkülözhetetlenek. Teljes mintafeltárás érdekében hatékonyabb a zárt nyomás alatt lévő készülék, azonban ez a módszer magában hordozza a túlnyomás kialakulásának a kockázatát, mely egyes szerves anyagok széteséséhez vezethet. A minta-előkészítés egyik fontos lépése lehet szilárd minták esetében a *szemcseméret csökkentése*, melyet laboratóriumi malmokkal végeznek. Általában kisméretű golyósmalmokat alkalmaznak, de műanyagok, gumi, papír vagy biomassza aprítására inkább forgókéses vagy kirogén malmok használata ajánlatos. A minták megfelelő pontosságú súlymérése szintén kulcskérdés. Kereskedelmi forgalomban többfajta laboratóriumi mérleg kapható, kapacitásuk és pontosságuk széles tartományban mozog. A mérlegek kalibrálását és ellenőrzését rendszeresen el kell végezni. Elsősorban a kromatográfiás és a nehézfém-elemzések esetében a minta-előkészítés során nagy tisztaságú desztillált vagy sótlanított vízre van szükség, hogy az elemzéskor elkerülhető legyen a vízben lévő elemek zavaró hatása. Erre a célra speciális laboratóriumi víztisztító berendezések állnak rendelkezésre. Sok esetben az előkészítés egyéb segédberendezéseket is igényelhet, ezért a laboratóriumi alapfelszerelések közé tartoznak általában a párologtatók, centrifugák és az ultrahangos fürdő.

Legtöbb esetben a hulladékokat felhasználó cementgyárak, illetve a kapcsolódó előkezelő telepek vizsgálólaboratóriumi kezdetben csak az alapparaméterek vizsgálatára vannak felkészülve, és az egyéb jellemzőket szükség esetén külső laboratóriummal méretik. Ennek többnyire a legfőbb oka az, hogy a mérésekhez szükséges készülékek meglehetősen drágák, és kisebb mennyiségű hulladék felhasználás esetén beszerzésük még nem gazdaságos. Nagyobb volumenű és többfajta hulladék felhasználása esetén már indokoltá válhat a gyártelepi, illetve az előkezelő telepi laboratóriumok bővítése, mellyel gyakorlatilag teljes körű elemzéseket viszonylag rövid idő alatt, helyben lehet elvégezni. A hulladékok jellemzőinek mérésére szolgáló műszereket a 2. táblázat foglalja össze és feltünteti, hogy általában mely készülékekkel rendelkezik egy standard, illetve egy jól felszerelt, bővített laboratórium.

Adatkezelés

Végezetül szólni kell néhány szót az adatok rögzítéséről, tárolásáról és értékeléséről, hiszen a mérési eredmények felhasználhatóságát ez nagymértékben befolyásolja. Ma már a számítástechnika fejlődése jelentősen megkönnyítette az adatkezelés módját, azonban egy esetleges számítógépes meghibásodás miatti adatvesztés érdekében célszerű pa-

Hulladékok egyes paramétereinek elemzésére szolgáló mérőműszerek

Analytical equipments for different waste parameters

Paraméter	Mérőeszköz	Standard-labor	Bővített labor
Kémiai elemzések			
Klór	titrátor/elektrod	x	
Víz	KF-titrátor	x	
Fluor	ion-szelektív elektrod		x
Kén	kénelemző		x
Hamu	XRF	x	
Szén (TOC)	szénelemző		x
Anionok, NH ₄ +	UV/VIS		x
Fémek	ICP-OES, EDXRF, AAS	x	
Nitrogén	Kjeldahl-készülék		x
Szerves anyagok	GC-MSD		x
Szerves anyagok	GC-FID	x	
PCB	GC-ECD	x	
Fizikai elemzések			
Fűtőérték	kaloriméter-bomba	x	
Lobbanáspont	lobbanáspont-mérő	x	
pH-érték	pH-méter	x	
Sűrűség	sűrűségmérő		x
Viszkozitás	viszkoziméter		x
Radioaktivitás	szcintillométer		x
Illóanyag	tokos kemence	x	
Nedvesség	szárítószekrény	x	
Szemcseméret	szita	x	
Minta-előkészítés			
Mintafeltárás	mikrohullámú feltáró	x	
Méretcsökkentés	labormalom	x	
Segédberendezés	mérleg	x	
Segédberendezés	párologtató	x	
Segédberendezés	centrifuga	x	
Segédberendezés	ultrahangos fürdő	x	
Segédberendezés	víztisztító berendezés	x	

píron is megőrizni az eredményeket, illetve meghatározott időközönként kimenteni más adathordozóra is az adatokat. A laboratóriumi adatok kezeléséhez érdemes egy jól strukturált elektronikus adatbázist felépíteni, mely lehet saját fejlesztésű vagy kereskedelmi forgalomban kapható termék. Ajánlatos, hogy a laboratóriumi adatbázis integrálva legyen a gyártási technológia irányítási rendszerébe

is, mely jelentősen megkönnyítheti a mérési adatok gyakorlati felhasználását. Egy megfelelően felépített integrált adatbázis segítségével nemcsak az adatok archiválása valósul meg, hanem egyúttal nyomon követhetővé válik a hulladék felhasználásának teljes folyamata. Statisztikai módszereket felhasználva elemezhetjük például a tendenciákat, az egyes paraméterek változásait, de készíthetünk kimutatásokat is az egyes hulladéktípusokra vagy forrásokra vonatkozóan.

Irodalom

- [1] *Dr. Tamás F.*: Szilikátipari kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
- [2] *A. Obrist – D. Pauling – A. Flacher*: Low Grade Fuel Study, Report TPT 00/21018/E, 11. 12. 2001.
- [3] *R. Stenger – P. Bürki*: AFR Quality Control Procedures, Presentation, 2001.
- [4] *E. Waeyenbergh – S. Montage – L. Mansson – I. Heredia – P. Benko – R. Stenger*: AFR Quality Control Manual, 2000.