



MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI ANYAGTUDOMÁNYI KAR
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT
3515 MISKOLC Egyetemváros



Települési szilárd hulladékok energetikai hasznosításának elemzése

Készítette:

Márton Gábor
MSc hallgató, II. évfolyam

Konzulens:

Dr. Szűcs István
egyetemi tanár
Nagy Sándor
tanszéki mérnök

Tüzeléstani és Hőenergia Intézeti Tanszék

2011. november

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	5
2. HULLADÉKKEZELÉS AZ EURÓPAI UNIÓBAN	6
3. A HULLADÉKKEZELÉS JOGI SZABÁLYOZÁSA MAGYARORSZÁGON.....	7
4. TELEPÜLÉSI HULLADÉKOK MENNYISÉGE AZ EU-BAN ÉS MAGYARORSZÁGON	9
4.1. Hulladékok mennyisége az EU-ban.....	9
4.2. Hulladékok mennyisége Magyarországon	10
4.2.1. Nagyvárosi hulladék összetétele.....	11
4.2.2. Kistélepülési hulladék összetétele	13
5. MECHANIKAI-BIOLÓGIAI HULLADÉK-ELŐKEZELÉSI TECHNOLÓGIA.....	15
5.1. A mechanikai-biológiai hulladék-előkészítés eljárásai	16
5.1.1. Mechanikai-biológiai stabilizálás.....	18
5.1.1.1. Teljes mértékű biológiai stabilizálás	18
5.1.1.2. Részleges mértékű biológiai stabilizálás	19
5.1.2. Mechanikai-fizikai stabilizálás	23
6. TELEPÜLÉSI HULLADÉKOK ENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSA	24
6.1. Termikus hasznosítás.....	24
6.1.1. Elgázosítás	25
6.1.2. Hőbontás	25
6.1.3. Égetés	25
7. HULLADÉKÉGETŐ MŰVEK EURÓPÁBAN ÉS MAGYARORSZÁGON.....	25
7.1. Hulladékégetők Európában.....	26
7.2. Hulladékégetők Magyarországon	27
8. SZILÁRD HULLADÉKOK ÉGETÉSE	28
8.1. A hulladékégetés technológiai folyamata	29
8.2. Az égés jellemzői	30
9. A HULLADÉKÉGETÉS BERENDEZÉSEI.....	31
9.1. Rostélytüzelésű hulladékégető berendezések	31
9.1.1. A tüzelőrostély	32
9.1.1.1. Hengerrostély.....	33
9.1.1.2. Lengőrostély.....	33
9.1.1.3. Vándorrostély.....	33
9.1.1.4. Visszatoló rostély	33
9.1.1.5. Lépcsős előtoló rostély	33
9.2. Forgódobos kemencék.....	33

9.3. Fluidágyas kemencék	34
10. SZILÁRD HULLADÉKOK VIZSGÁLATI MÓDSZEREI	35
10.1. Nedvességtartalom meghatározása	35
10.1.1. Alapfogalmak	36
10.1.2. Durva nedvesség meghatározása	36
10.1.3. Higroszkópos nedvesség meghatározása	36
10.1.4. Nedvességtartalom számítása	36
10.2. Hamutartalom meghatározása.....	37
10.2.1. A mérés menete.....	37
10.2.2. Hamutartalom számítása	37
10.3. CHNS elemanalízis	37
10.3.1. A mérés elve.....	38
10.4. Égéshő és fűtőérték meghatározása.....	39
10.4.1. Alapfogalmak	39
10.4.2. Égéshő meghatározásának elve.....	39
10.4.3. A mérőeszköz felépítése	40
10.4.4. Számítások	41
10.4.4.1. Vízérték meghatározása	41
10.4.4.2. Égéshő számítása.....	42
10.4.4.3. Fűtőérték számítása.....	42
10.5. Differenciál termogravimetriai mérés	43
11. TELEPÜLÉSI HULLADÉKOK VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI	44
11.1. Nedvességtartalom.....	44
11.1.1. Nagyvárosi minták nedvességtartalma.....	44
11.1.2. Kistelepülési minta nedvességtartalma	45
11.2. Hamutartalom.....	46
11.2.1. Nagyvárosi minták hamutartalma	46
11.2.2. Kistelepülési minták hamutartalma	46
11.3. CHNS elemanalízis	47
11.3.1. Nagyvárosi mintákon végzett elemanalízis.....	47
11.3.2. Kistelepülési mintákon végzett elemanalízis	47
11.4. Fűtőérték	48
11.4.1. Nagyvárosi minták fűtőértéke	48
11.4.2. Kistelepülési minták fűtőértéke.....	48
11.5. Derivatogramok.....	49
11.5.1. Nagyvárosi minták derivatogramjai.....	49
11.5.1.1. Komposzt minta derivatogramja	49
11.5.1.2. Lakossági bio minta derivatogramja	50
11.5.1.3. Áprilisi MBH minta derivatogramja	51
11.5.1.4. Júniusi MBH minta derivatogramja	52
11.5.2. Kistelepülési minták derivatogramjai	53
11.5.2.1. Papír minta derivatogramja.....	54

11.5.2.2. Textil minta derivatogramja	55
11.5.2.3. Műanyag minta derivatogramja	56
12. ÖSSZEFOGLALÁS.....	57
13. IRODALOM.....	60
14. MELLÉKLETEK	61
14.1. I. számú melléklet.....	61
14.2. II. számú melléklet.....	62

1. Bevezetés

A modern élet velejárója a termelési-fogyasztási körfolyamatban a hulladékok keletkezése. A gyárak a jogi szabályozások végett, és gazdasági érdekeikből fakadóan igyekeznek mérsékelni a termelés velejárójaként keletkezett melléktermékeket. A legjobb igyekezet mellett is – a felmérések eredményeit figyelembe véve – nagy mennyiségekkel kell foglalkozni azoknak a szakembereknek, akik a hulladékkezelésben jártasak.

A településeken (nagyvárosokban, falvakban) élő emberek a mindennapjaik során a gyártók termékeit fogyasztják, használják a tevékenységeikhez. Így ők is nagymértékben hozzájárulnak a hulladékok – közhasználatban „szemét” – mennyiségének növekedéséhez. A laikus emberek többsége bármilyen típusú hulladékot szemétnek nevez, pedig ez téves szemlélet. Maga a szó azt a jelentéstartalmat hordozza, miszerint a számunkra tovább hasztalan anyagot kidobjuk, és a sorsára hagyjuk (vagyis a természet azt tesz vele, amit akar). Ami egyik ember számára értéktelennek bizonyul, az egy másik számára hasznos lehet. Így van ez a hulladékkezelés esetében is.

E felismerésnek köszönhetően, a fejlett országokban a felelős vezetők megszervezték a hulladékok kezelését, melyet törvényekben, jogszabályokban írtak le. Ennek köszönhetően, az elmúlt évtizedekben nagy fejlődés mutatkozott e területen, és a trend jelenleg is folytatódik. A lakosságot is egyre szélesebb körben igyekeznek bevonni, hiszen mindannyiunk felelőssége a minket körülvevő környezet megóvása annak érdekében, hogy a következő generációk életvitele se kerüljön veszélybe.

A keletkező hulladékokat a legegyszerűbb csoportosítási mód szerint ipari és települési hulladékok kategóriájára lehet szétbontani. A dolgozat a településeken keletkező szilárd hulladékok kezelésével foglalkozik, kiemelten a termikus hasznosítással. Mivel egyre jobban elterjed a mechanikai-biológiai előkészítés (MBH), ezért erről a technológiáról is szólni kell.

Ahhoz, hogy hulladékból energiát állítsunk elő, fontos tisztában lenni az adott országra vonatkozó törvényekkel. Ezért az első teendők közé tartozik a jogi szabályozás ismertetése mind az EU-t, mind hazánkat illetően.

A munka egy további fázisában bemutatom az Európai Unióban keletkező hulladékok mennyiségét, összevetve azt a hazai helyzettel. A számok ismeretében következtetések vonhatók le azt illetően, hogy milyen mennyiség hasznosítható energiatermelésre. Magyarországi két helység – egy nagyváros és egy kistelepülés – esetében ismertetem a helyszíneken lezajlott vizsgálatok eredményeképp rendelkezésre álló adatokat, azaz hogy a hulladék milyen frakciókból áll, és azok milyen hányadot képviselnek az egész mintához viszonyítva.

A kellő mennyiségben rendelkezésre álló éghető hányadot energiatermelésre használhatjuk, ezáltal kiváltva a drágább energiahordozókat, mint például a földgázt. A legegyszerűbb energia-előállítási módszer a hulladék elégetése. Ezt a megoldást részletesebben ismertetem, de a többi, ugyancsak elterjedt megoldásról is szólok pár mondatban.

A hulladékok termikus kezelése égetőművekben valósul meg, melyek ellen oly sok tiltakozásról lehet hallani mostanában. Bármennyire is nagy az igyekezet, a közeljövőben is fognak épülni ilyen létesítmények. Ezekben az üzemekben különböző típusú berendezésekben folyik az energiatermelés. A legelterjedtebben használt kazánokat és kemencéket épp ennek okán mutatom be.

Ahhoz, hogy energetikai célú hasznosítás valósuljon meg, nem elég ismerni a hulladék éghető részének mennyiségét, összetételét. Laboratóriumi vizsgálatokra van szükség annak érdekében, hogy biztonsággal kijelenthető legyen a rendelkezésre álló anyagról, hogy égethető. Ennek érdekében alapvető vizsgálatokat végeztem, mint például nedvesség-, hamutartalom meghatározása. Egy ilyen kutatás során az elemi összetétel ismerete is lényeges. Így CHNS elemanalízisre is sor került, melyet követett a fűtőérték meghatározása.

A vizsgálatokat a vonatkozó szabványok szerint végeztem el. Természetesen a teljes szabvány közlésére nincs lehetőség, de a lényeges részeket kiemeltem és feldolgoztam, így az Olvasó is elvégezheti a méréseket ezek alapján.

A laboratóriumi munka során kapott eredményeket a dolgozat utolsó részében közlöm, számszerűen közölve azokat.

A bemutatott kistelepülésen és közelségében jelenleg nem üzemel hulladékégető mű. Ahhoz, hogy legalább a közintézmények függetleníteni tudják magukat a kötött hálózattól – és saját magukat lássák el hőenergiával –, felmérésekre van szükség. Csak a pontos adatok ismeretében határozhatók meg a jövőbeni feladatok, melyek azt a célt szolgálják, hogy termikus hasznosításra alkalmas berendezést telepítsenek.

Ennek okán a dolgozatom kettős célt szolgál: elsősorban azt, hogy a nagyvárosi példa alapján bemutassam a hulladékégetés fontosságát, másodsorban pedig azt, hogy a közeljövőben a kistelepülések összefogásával érdemes elgondolkozni a modern hulladékégetés lehetőségén, mely elsősorban hőenergiát szolgáltatna.

Mindezt az előzőekben vázolt lépések alapján teszem meg, mely alapján hasznos következtetések vonhatók le.

2. Hulladékkezelés az Európai Unióban

Az Európai Unió megalapításakor a belépő tagállamok még nem fordítottak kellő figyelmet a környezetük védelmére. A rohamos gazdasági fejlődés, és ennek következtében a környezet romlása felhívta a felelős vezetők figyelmét arra, hogy egységesen lépjenek fel ebben az ügyben. Ennek okán az 1970-es években megalkották az ún. „akcióprogramokat”, melyekben több évre előre rögzítették a megoldandó feladatokat. Jelenleg a hatodik ilyen terv zajlik, amit 2002-ben készítettek el, és a **„Környezet 2010: A mi jövőnk, a mi választásunk”** nevet kapta. A program négy fő területet emel ki:

- Küzdelem a klímaváltozás ellen,
- Természetvédelem és biodiverzitás,
- Környezetegészség,
- **A természeti erőforrások fenntartható használata és a hulladék kezelése:** a megújuló és nem-megújuló források olyan módon való használatának biztosítása, ami nem lépi túl a környezet teherbírását; a gazdasági növekedés és a természeti erőforrások felhasználásának növekedését szét kell választani jelentősen javított forrásfelhasználás és integrált szennyezésmegelőzés útján [1].

A hulladékkezelés témakörében további alapelveket fektettek le, melyek a következők:

- Törekedni kell a hulladékkezelés megakadályozására megfelelő terméktervezéssel,

- Támogatni kell a hulladék újrahasznosítását és újrafelhasználását,
- Támogatni kell a hulladékégetést energianyerés céljából [1].

Vegyük észre, hogy a hulladékok keletkezésének csökkentését, valamint az egyre nagyobb hatékonyságú újrahasznosítást támogatja az Európai Unió. Amennyiben a hulladék minimalizálására törekszünk, akkor egyúttal a természeti erőforrások felhasználását és a hulladék mennyiségének csökkenését valósíthatjuk meg.

A tagországoknak az akcióprogramokban leírt irányelvek szerint kell eljárniuk; így hazánk sem kivétel ez alól. Már az unióba lépésünk előtt is születtek törvények a környezetvédelem és hulladékgazdálkodás területén, mint például az 1975-ös 75/442/EGK direktíva. A gazdasági fejlődésnek köszönhetően legutóbb, 1996-ban átdolgozták.

Több hasonló direktíva és rendelet készült az elmúlt évtizedekben, mint például az 1991-es 91/689/EGK irányelv a veszélyes hulladékokra vonatkozóan, a 259/93 sz. rendelet a határokon át történő szállításról és felügyeletről. A hulladékok égetésével kapcsolatos szabályozásokat a 2000/76/EK fogalmazza meg.

Magyarország az ezredforduló elején, szinte ugyanebben az időben alkotta meg a hulladékkezelésre vonatkozó törvényt a direktívákhoz hasonlóan (egyúttal felkészülve a későbbi EU-csatlakozásra).

A következő fejezet a hazai – de egyben az Európai Uniónak is megfelelő – jogi szabályozást mutatja be a hulladékok kezelését illetően.

3. A hulladékkezelés jogi szabályozása Magyarországon

Hazánkban a 70-es, 80-as években a nagyvárosok megszervezték a hulladékaik összegyűjtését, szállítását és kezelését. A kistelepülések kb. egyötöde mondhatta el magáról, hogy náluk ilyen tevékenység folyt. A rendszerváltást követő években a szervezett gyűjtésbe csatlakozók száma folyamatosan növekedett. Elérkezett az idő, hogy a hulladékkezeléssel kapcsolatos sarkalatos kérdéseket és feladatköröket törvénybe foglalják.

Közel tizenkét évvel ezelőtt fogadták el, és rá egy évre lépett hatályba a 2000. évi XLIII. Hulladékgazdálkodási törvény (Hgt.). Megalkotásában a hulladékkezelés területén tapasztalatokat szerzett szakemberek vettek részt. A törvényt több fejezetre osztották, és mellékletekkel látták el.

Az első fejezetében a célokat és általános rendelkezéseket rögzíti. Az 1. § szerint a törvény célja:

a) az emberi egészség védelme, a természeti és az épített környezet megóvása, a fenntartható fejlődés biztosítása és a környezettudatos magatartás kialakítása a hulladékgazdálkodás eszközeivel;

b) a természeti erőforrásokkal való takarékoskodás, a környezet hulladék által okozott terhelésének minimalizálása, szennyezésének elkerülése érdekében a hulladékkeletkezés megelőzése (a természettől elsajátított anyag minél teljesebb felhasználása, hosszú élettartamú és újrahasználatos termékek kialakítása), a képződő hulladék mennyiségének és veszélyességének csökkentése, a keletkező hulladék minél nagyobb arányú hasznosítása, a fogyasztás-

termelés körforgásban tartása, a nem hasznosuló, vissza nem forgatható hulladék környezetkímélő ártalmatlanítása.

A célok ismertetése után az alapvető fogalmakat tárgyalja. Azokat emelem ki, amelyek számunkra most a legfontosabbak a tárgyalt témakörben.

„Hulladék: bármely, az 1. számú melléklet szerinti kategóriák valamelyikébe tartozó tárgy vagy anyag, amelytől birtokosa megválnak, megválni szándékozik, vagy megválni köteles” (3. § (a) pontja).

A mellékletben Q1-től Q16-ig találhatók meg a különböző kategóriák, melyre most külön nem térek ki.

„Települési hulladék: a háztartásokból származó szilárd vagy folyékony hulladék, illetőleg a háztartási hulladékhhoz hasonló jellegű és összetételű, azzal együtt kezelhető más hulladék” (3. § (c) pontja),

„Újrahasználat: a terméknek az eredeti célra történő ismételt felhasználása; a többször felhasználható, újratölthető termék a forgási ciklusból történő kilépésekor válik hulladékká” (3. § (i) pontja),

„Hasznosítás: a hulladéknak vagy valamely összetevőjének a termelésben vagy a szolgáltatásban - a 4. számú mellékletben felsorolt eljárások valamelyikének alkalmazásával - történő felhasználása” (3. § (j) pontja),

„Ártalmatlanítás: a hulladék okozta környezetterhelés csökkentése, környezetet veszélyeztető, szennyező, károsító hatásának megszüntetése, kizárása - a környezet elemeitől történő elszigeteléssel vagy anyagi minőségének megváltoztatásával -, a 3. számú mellékletben felsorolt eljárások valamelyikének alkalmazásával” (3. § (k) pontja).

A csatolt melléklet sorolja fel azokat a műveleteket, melyek a hulladékártalmatlanítást szolgálják. Jelölése D1-től D15-ig terjed. A „hulladékégetés szárazföldön” kategória D10-zel szerepel a listában.

A Hgt. tartalmazza a települési önkormányzatok hulladékgazdálkodással kötelezettségeit. Részletesen leírja, mintegy kiegészítve a helyi önkormányzatokról szóló 1990. évi LXV. törvényben meghatározott feladatokat.

A további fejezetek részletesen érintik a hulladékkezelés területét, pontosan meghatározva a feladatokat és célokat. A teljes irodalom ismertetésére e dolgozat keretein belül nincs lehetőség, de a [2]-es hivatkozás alatt megtalálható.

Mivel a „hulladék” kifejezés általánosít, ezért a világon létrehoztak egy jegyzéket, melyben felsorolják az egyes kategóriákat, azokat különböző rendező elvek alapján csoportosítva. A legegyszerűbb rendszerezés a termelő és szolgáltató, valamint a fogyasztói szférában különbözteti meg a termelési és települési (kommunális) hulladékokat.

Az eredet szerinti csoportosítás alapján a hulladékot azzal a tevékenységgel, folyamattal vagy technológiával jellemzik, amelyben az keletkezett.

A környezetre és az emberi egészségre gyakorolt hatásuk alapján a hulladékokat a veszélyes és nem veszélyes, valamint az inert hulladékok kategóriájába soroljuk [3].

A dolgozat a nem veszélyesnek minősített **települési szilárd hulladékok** (bizonyos esetekben rövidített formájában TSZH) hasznosításával foglalkozik. A következő fejezetekben röviden bemutatom a EU-ban és hazánkban keletkező hulladékok mennyiségét.

4. Települési hulladékok mennyisége az EU-ban és Magyarországon

Mint a világon minden fejlett országban és kontinensen, úgy Európában is fontos kérdés a hulladékok megfelelő kezelése az elérhető legjobb technológia betartásával (BAT¹). Ebből a célból készült egy tanulmány, mely részletesen ismerteti az Európai Unióban keletkező hulladékok mennyiségét.

4.1. Hulladékok mennyisége az EU-ban

Az EU-ban az égetés aránya 0-62% között változik. A tagországokban mintegy évi 200 millió tonna hulladék bizonyul termikus kezelésre alkalmasnak – viszont a kiépített üzemek kapacitása csak 50 millió tonnás nagyságrendben van [4].

Az **1. táblázatban** láthatók a települési szilárd hulladékok (TSZH) felhasználására vonatkozó kimutatások. Bizonyos részét termikusan hasznosították, míg más részét lerakták. Mivel a definíciók és a hulladék-kategóriák országról-országra változnak, az értékek csak fenntartással hasonlíthatók össze! Az adatok a 2000-es évekből származnak, az akkori EU-15 figyelembe vételével.

1. táblázat. A települési szilárd hulladék mennyisége és kezelése az EU–15-ben [4]

Ország	Becsült összes TSZH [10 ⁶ t]	Év	Lerakott %	Elégetett %
Ausztria	1,32	1999	51	35
Belgium	4,85	1997	42	35
Dánia	2,77	1996	15	56
Finnország	0,98	1997	77	2
Franciaország	48,5	2000	55	26
Németország	45,00	2000	30	29
Görögország	3,20	1993	93	0
Írország	1,80	1998	100	0
Olaszország	25,40	1995	85	8
Luxemburg	0,30	1995	24	48
Portugália	4,6	2002	71	20
Spanyolország	17,00	1997	85	10
Svédország	3,80	1999	24	38
Hollandia	10,20	2002	11	76
Egyesült Királyság	27,20	1999	85	6
Összesen²:	196,92			

¹ Best Available Technology: A "legjobb elérhető technológia" kifejezés alatt azon eljárások, berendezések vagy üzemeltetési módszerek legmodernebb fejlesztési fázisai értendők, amelyek gyakorlatilag alkalmazhatók szennyvíz- és szennyezés kibocsátási vagy hulladékcsökkentési intézkedések megvalósítására.

² Az összesített adatok egyszerűen a megadott értékek összegei, így különböző évekből származnak [4].

A **2. táblázat** mutatja be a 2000-es években csatlakozott országokban (mint például hazánkban³) keletkező hulladékok mennyiségét, valamint az égetésre alkalmas üzemek számát. A közölt adatok 2000. előttiak.

2. táblázat. Évente keletkező települési szilárd hulladék mennyisége az EU-ba csatlakozott országokban [4]

Ország	Év	Települési hulladék, [10 ⁶ t]	TSZH égetők száma
Bulgária	1998	3,199	0
Csehország	1999	4,199	3
Észtország	1999	0,569	0
Magyarország	1998	5,0	1
Lettország	1998	0,597	0
Litvánia	1999	1,211	0
Lengyelország	1999	12,317	4
Románia	1999	7,631	0
Szlovákia	1999	3,721	2
Szlovénia	1995	1,024	0
Összesen:		39,468	10

A keletkező éves hulladékmennyiséget látva, hazánk Lengyelország és Románia után következik évi 5 millió tonna települési (szilárd) hulladékkal.

A következő fejezetben, több évre visszamenő felmérés alapján mutatom be a hazai helyzetet, külön kiemelve egy nagyvárosi és egy kistelepülési esetet a rendelkezésre álló számadatok segítségével.

4.2. Hulladékok mennyisége Magyarországon

Az életszínvonal emelkedésével világszerte, így Magyarországon is egyre több hulladék keletkezik, amely a legfrissebb adatokat tekintve kb. 430 kg, míg más források szerint kb. 500 kg fejenként. [5, 6]. Az éves 100 millió tonna körüli hulladékmennyiség mintegy 5%-a (körülbelül 4,8-5 millió tonna) háztartásokból, intézményekből származik, mint települési szilárd hulladék (TSZH).

A 2000-ben közzétett adatok öt évre visszamenőleg mutatják be a hazai helyzetet. A **3. táblázatban** láthatók az évenkénti összesített adatok, külön kiemelve a TSZH-t.

3. táblázat. Magyarországi hulladékmennyiség alakulása 1995-1999 között [7]

Hulladék típusa	Keletkezett mennyiség [millió tonna]				
	1995	1996	1997	1998	1999
Települési szilárd	4,5	4,7	4,8	5,0	4,9
Települési folyékony	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Termelési veszélyes	3,4	2,6	3,6	3,9	3,6
Termelési nem veszélyes	80,0	64,0	70,0	70,0	70,0
Összesen	107,9	91,3	98,4	98,9	98,5

³ Magyarország 2004. május 1-én csatlakozott az Európai Unióhoz.

A települési szilárd hulladékokat termikus hasznosítás előtt válogatni kell, hogy azok a frakciók elkülönítésre kerüljenek, melyek alkalmatlanok számunkra. A **4. táblázat** mutatja be a hazánkban keletkező hulladékok tömegszázalékos megoszlását frakciónként.

4. táblázat. Szilárd települési hulladék összetétele [8]

Megnevezés	[% m/m]	Megnevezés	[% m/m]	Megnevezés	[% m/m]
Bio	13,3	Higiéniás termékek	4	Éghetetlen	5
Papír	7	Műanyag	13,2	Veszélyes	0,7
Karton	2	Éghető	3	<50 mm	40,5
Fém	3,3	Üveg	5	Textil	3

A közelmúltban több tanulmány is készült, melyek elemzik a nagyvárosok és kistelepülések hulladékának összetételét – országos képet adva a helyzetről. Látható, hogy a legnagyobb mennyiségben az 50 mm-nél kisebb frakciók találhatók meg az elemezett mintában, majd a biológiailag lebontható és a műanyag hulladékok követik. Ahhoz, hogy az adott régióban megtaláljuk a legmegfelelőbb hulladékkezelési módot, ismerni kell a pontos összetételt. A dolgozatban egy nagyvárosi (Győr) és egy kistelepülési (Csernely) példát mutatok be.

4.2.1. Nagyvárosi hulladék összetétele

A nagyvárosokban az emberi fogyasztás eredményeképpen nagymennyiségű hulladék keletkezik. Egy 2011-es felmérés során, lakossági és intézményi vegyes hulladék (továbbiakban LV és IV), lakossági biológiai, valamint lakossági maradék (LB és LM), illetve mechanikai-biológiai kezelésnek kitett (MBH) hulladék begyűjtésére és elemzésére került sor Győrben, az ott üzemelő hulladékgazdálkodási cég megbízásából, melyben a Miskolci Egyetem részéről a Tüzeléstechnikai és Hőenergia Intézeti Tanszék is részt vett.

A mintavételezés három különböző időpontban valósult meg; a már felsorolt kategóriák mindegyikét begyűjtötték, és különböző frakciókra válogatták szét több lépésben (volt egy elsődleges, amit követett egy másodlagos szelektálás).

Jelen esetben, számunkra a legfontosabb frakciók az energetikailag hasznosíthatóak, azaz arra alkalmas berendezéssel elégethetőek, mint például a textil, műanyag, vagy egészségügyi hulladékok, illetve papír, karton, amennyiben nem történik újrahasznosítás. A begyűjtött minta más egyéb alkotókat is tartalmazott, mint például üveget és fémeket. Az **5. táblázat** a vizsgálati napra vonatkozó teljes mennyiségnek az éghető hányadát mutatja be (a részletes adatokat az **1. melléklet** tartalmazza).

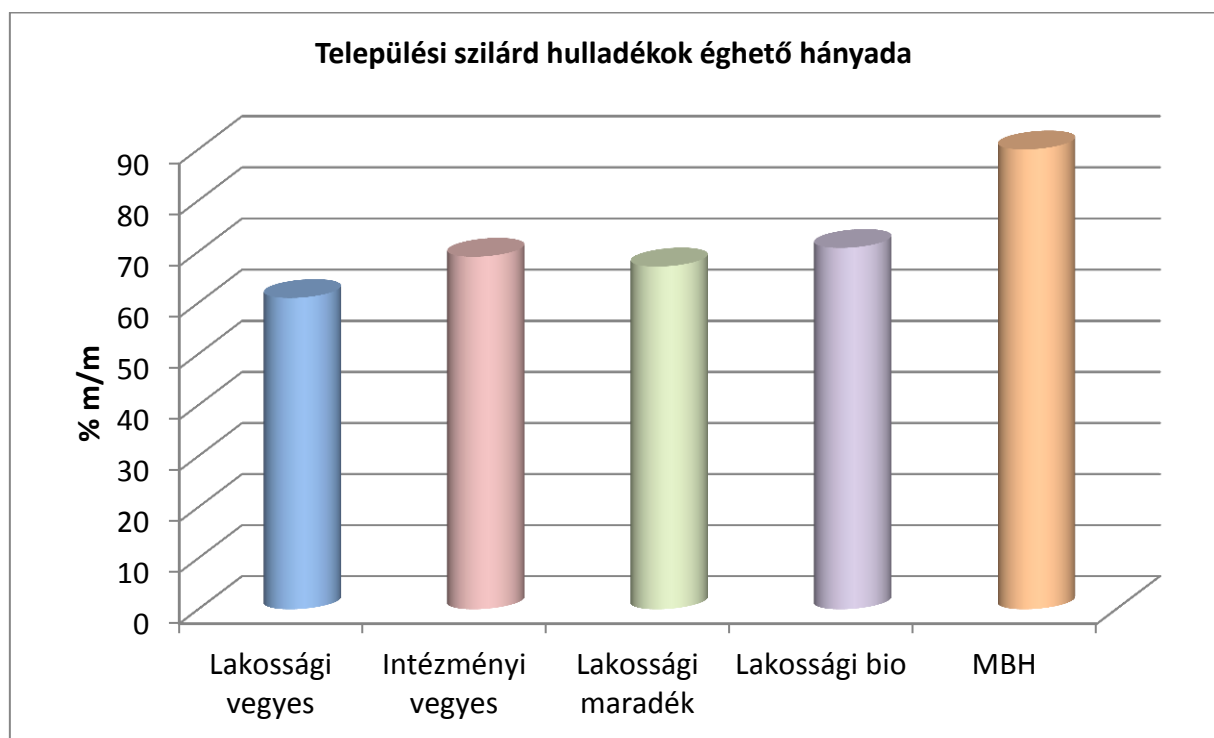
5. táblázat. Győri települési hulladékok energetikailag hasznosítható mennyiségei

Jelölés/Év/Hó/Nap	Teljes vizsgált mennyiség, [kg]	Összes éghető-anyag-tartalom [kg]	Összes éghető anyag mennyisége [% m/m]
LV-I/11.04.18.	340	237	69,7
LV-II/11.05.30.	820	345	42,0
LV-III/11.09.05.	820	584	71,2

Jelölés/Év/Hó/Nap	Teljes vizsgált mennyiség, [kg]	Összes éghető-anyag-tartalom [kg]	Összes éghető anyag mennyisége [% m/m]
IV-I/11.04.18.	460	376	81,7
IV-II/11.05.30.	520	428	82,3
IV-III/11.09.05.	260	196	75,3
LM-I/11.04.21.	340	254	74,7
LM-II/11.06.02.	1080	560	51,8
LM-III/11.09.05.	1000	595	59,5
LB-I/11.04.22.	720	712	98,8
LB-II/11.06.03.	1320	1289	97,6
LB-III/11.09.05.	1000	595	59,5
MBH-I/11.04.21.	320	278	86,8
MBH-II/11.06.02.	507	490	96,6
MBH-III/11.09.09.	300	260	86,6

Jelmagyarázat: LV: Lakossági Vegyes Hulladék, IV: Intézményi Vegyes Hulladék, LM: Lakossági Maradék Hulladék, LB: Lakossági Biológiai Hulladék, MBH: Mechanikai-biológiai kezelésnek kitett hulladék

Az 5. táblázatban felsorolt települési szilárd hulladékkategóriák átlagolt eredményeit az **1. ábra** mutatja be.



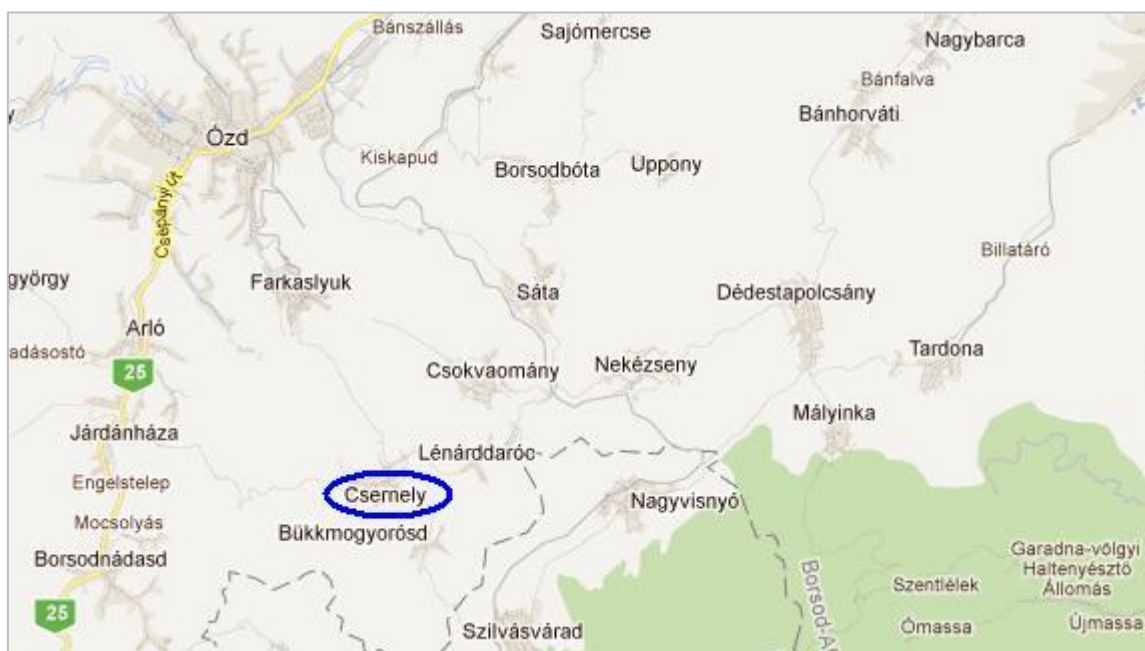
1. ábra. Győrben összegyűjtött TSZH éghető hányada a 2011. április – szeptember között

A legnagyobb mennyiségű – égetésre alkalmas – anyagot az MBH tartalmazza. Ez nem véletlen, mivel ez a technológia arra irányul, hogy minél nagyobb hasznos hányadot nyerjünk ki a begyűjtött hulladékból. A dolgozat egy későbbi fejezetében bővebben lesz erről szó.

4.2.2. Kistelepülési hulladék összetétele

A győri mintavételezéssel szinte párhuzamosan zajlott le a Csernelyben keletkező hulladék begyűjtése, melyet alapos kutatómunka előzött meg (kérdőívek segítségével feltárták a lakosságra jellemző legfontosabb paramétereket).

Csernely hazánk északkeleti részén helyezkedik el 802 főnyi lakosával, Ózdtól délkeletre. A **2. ábra** bekarikázva látható.



2. ábra. Csernely elhelyezkedése

Az első vizsgálat alkalmával begyűjtött hulladék mennyisége 16,62 kg (ez nem fedi a teljes keletkező mennyiséget).



3. ábra. Kompozit és papír frakciók

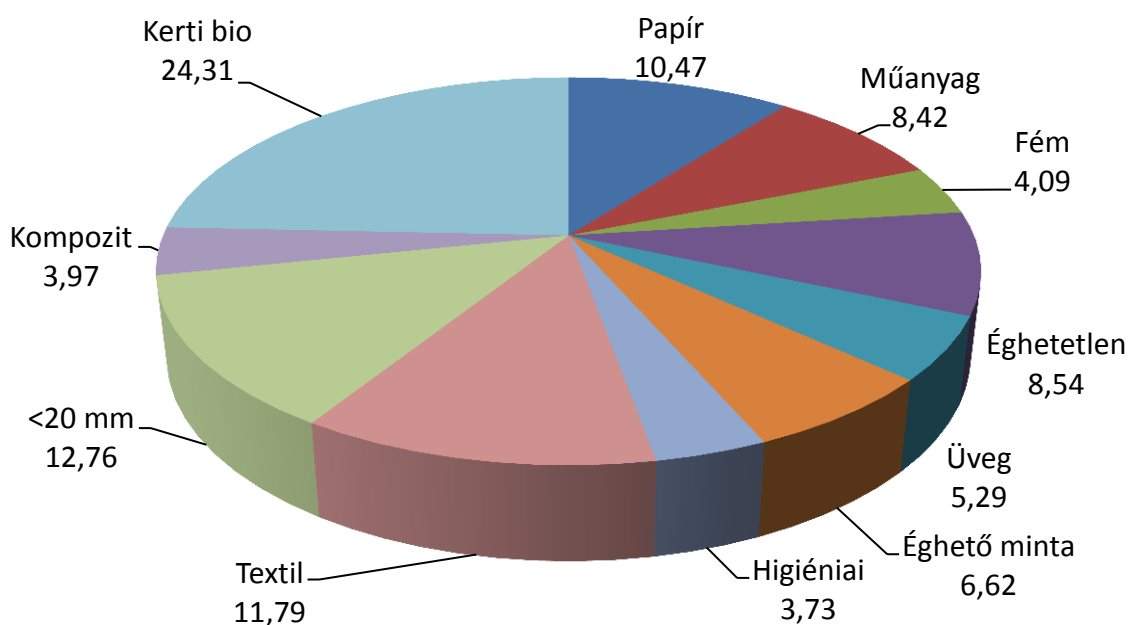
A válogatás után, az egyes frakciókról készült felvételek a **3. ábra** láthatók.

A **6. táblázatban** rögzítettem a kistelepülésről beérkezett minta szétválogatott frakcióinak tömegét.

6. táblázat. Csernelyből begyűjtött hulladék frakciói

Frakció megnevezése	Begyűjtött tömeg, [kg]	Frakció megnevezése	Begyűjtött tömeg, [kg]
Papír	1,74	Éghető minták	1,10
Műanyag	1,40	Higiéniai hull.	0,62
Fém	0,68	Textil	1,96
Éghetetlen	1,42	<20 mm	2,12
Üveg	0,88	Kompozit	0,66
Kerti bio	4,04	Összesen:	16,71

A tömegszázalékos megoszlást az alábbi tortadiagram mutatja be (**4. ábra**). A feltüntetett értékek tömegszázalékban értendők.



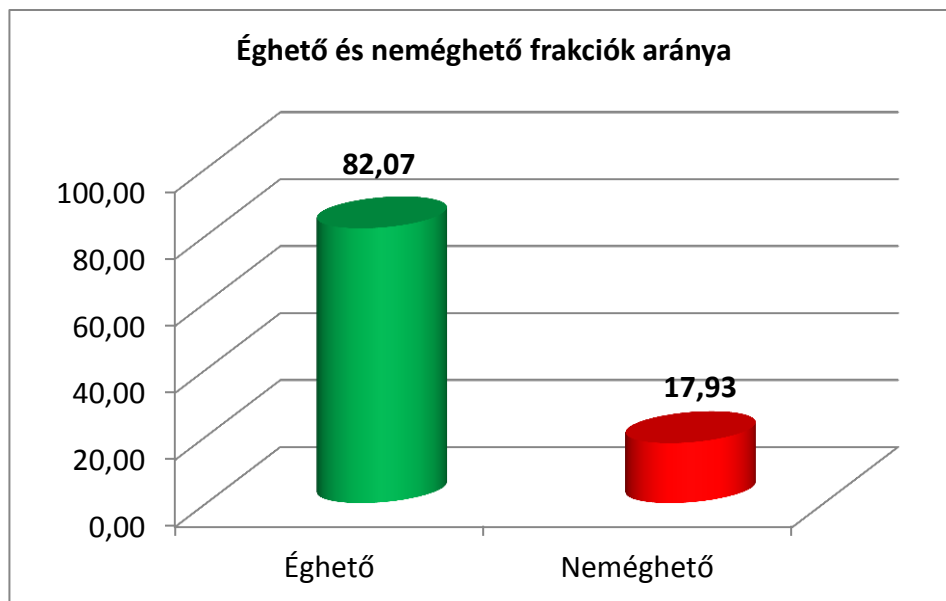
4. ábra. Csernelyben összegyűjtött mintában lévő frakciók megoszlása

A legkisebb mennyiségben (tömegegységre vonatkoztatva) kompozit fordul elő. Kompoziton az üdítő- és tejesdobozokat értjük, mivel nemcsak papírt tartalmaz, hanem más egyéb alkotókat is, úgymint polietilén és alumíniumfólia [9].

Az üveg, fém és az egyéb éghetetlen kategóriába sorolt anyagokon kívül szinte mindegyik éghetőnek minősül.

Számunkra a nyolc éghető kategória a legfontosabb, de a neméghető frakció mennyiségével is tisztában kell lenni, ugyanis kezelni kell (például a konzerves dobozokat anyagában újra fel lehet használni).

Az éghető és neméghető frakciók arányát mutatja be az **5. ábra**.



5. ábra. Az éghető és neméghető frakciók megoszlása a cserneli TSZH-ban

Ahhoz, hogy pontos következtetéseket vonhassunk le, többször ismételt adatgyűjtésre van szükség. Az első felmérésből is jól látszik, hogy fontolóra kell venni a termikus hasznosítás lehetőségét, hiszen a szigorú szabályok eleve nem teszik lehetővé a keletkezett hulladék kezelés nélküli deponálását. Ha az éghető anyagok tömegéből kivesszük a papírt, melyet esetleg anyagában újrahasznosíthatunk, akkor is 71% marad, mellyel gazdálkodhatunk.

A rendelkezésre álló hulladékokat égetés előtt kezelni kell annak érdekében, hogy nagy fűtőértékű hánnyadot kapjunk. Erre az egyik megoldás az MBH (vagy RDF) néven ismert technológia. A következő fejezetben erről lesz szó.

5. Mechanikai-biológiai hulladék-előkezelési technológia

A hazai helyzetet figyelve, a vegyesen begyűjtött hulladékok végső kezelését lerakással ártalmatlanították. A 2008-ban keletkezett 4,6 millió tonna települési szilárd hulladék mintegy 75%-át ilyen módon oldották meg. A szelektív hulladékgyűjtés egyre szélesebb körű növekedésének köszönhetően a hasznosítható hulladékok, illetve a biológiailag kezelt hulladékok részaránya elérte a 15%-ot, míg termikus hasznosításra 9%-nyi került.

A jövőre vonatkozóan az adatok azt mutatják, hogy a hulladék mennyisége folyamatosan növekedni fog. A jelenleg is érvényben lévő, 2014-ig tartó Második Országos Hulladékgazdálkodási Terv egyik célkitűzése, hogy a lerakásra kerülő mennyiséget 60% alá csökkentsék. Ez többnyire azt jelenti, hogy

- a szelektív gyűjtést fokozni kell;
- a biológiailag hasznosítható alkotókat fel kell dolgozni;
- és nem utolsósorban az energetikai hasznosítás mértékét is növelni kell.

Fontos megjegyezni, hogy a biológiailag bomló hulladékok lerakóba történő mennyisége a jelenlegi jogi szabályozás mellett nem lehet több 35 tömegszázaléknál, ami az 1995-ben lera-

kott mennyiséghez viszonyít. A nemzetközi tapasztalatokat figyelve ez csak részben érhető el, így a teljes körű megoldást a termikus hasznosítás jelentheti. A következő módszerek alkalmazása javasolt:

1. Az egyébként lerakásra kerülő vegyes összetételű és vegyesen begyűjtött hulladék (más szóval maradék hulladék) energetikai hasznosítása hulladékégető művekben;
2. A maradék hulladék mechanikai-biológiai előkezelésével kinyert másodlagos szilárd tüzelőanyag termikus hasznosítása hulladékégető művekben, vagy hőbontással (gázosítással);
3. A maradék hulladék mechanikai-biológiai előkezelésével kinyert magas fűtőértékű másodlagos szilárd tüzelőanyag termikus hasznosítása cementművekben vagy széntüzelésű erőművekben [4].

A mechanikai-biológia hulladék-előkészítés (MBH) különféle, mai gyakorlatban alkalmazott megoldásait tárgyalják a következő fejezetek.

5.1. A mechanikai-biológiai hulladék-előkészítés eljárásai

A települési szilárd hulladékból történő másodlagos tüzelőanyagok (Refuse Derived Fuel, röviden RDF) előállítását szolgáló mechanikai eljárások mintegy 20-25 éve ismeretesek. A biológiai lebontható rész nedvességtartalmának csökkentésére és a jobb minőségű tüzelőanyag előállítása érdekében került sor a TSZH maradék anyagának ún. stabilizációs kezelésére. Ma a maradék hulladék kezelésének ez a módszere a mechanikai, biológiai vagy termikus eljárások kombinált alkalmazásából tevődik össze.

A mechanikai-biológiai hulladék-előkezelési technológiát (továbbiakban MBH) a kezdetekben hiányosságok jellemezték, melyek a következők:

- a berendezések nem teljesítették az emissziós követelményeket;
- nem volt szennyvízkibocsátás nélküli üzem;
- a rendeletekben előírt magas fűtőértékű anyagok leválasztása csak a tapasztalatok alapján történt;
- a leválasztott, magas fűtőértékű komponensek minősége rossz volt;
- nem voltak megfelelő berendezések a nem-vasfémek leválasztására;
- a szerves hulladék-komponensek feldolgozása nem volt megoldva.

A jelenlegi technológiai rendszerekben az imént felsorolt hiányosságokat már megoldották, kiküszöbölték.

A **mechanikai kezelés (előkészítés)** a maradék hulladék biológiai vagy termikus továbbkezelésének megelőző (és követő) lépcsője. Célja: a különböző hasznosítható komponensek kinyerése (mint például fémek, üveg, magas fűtőértékű frakció), valamint a további kezelést zavaró frakciók (például kövek, föld, kerámiák) eltávolítása az anyagból, továbbá meghatározott szemcseméret-tartomány kialakítása a további kezeléseket megkönnyítendő.

A **biológiai kezelés** fő célja a komposztálásra és az anaerob erjesztésre alkalmatlan biológiaiilag lebontható hulladékfrakció környezeti veszélyességének csökkentése, vagy teljes meg-

szüntetése. A kiindulási anyagban (hulladékban) lévő, rendelkezésünkre mikroorganizmusokat úgy kell felhasználni működésük befolyásolásával, hogy a toxikus tartalmat a legnagyobb mértékben minimalizáljuk. Ezt az eljárást biológiai stabilizálásnak nevezzük.

Az MBH eljárás következtében csökken a

- hulladék térfogata;
- tömege;
- víztartalma;
- biológiailag lebontható szervesanyag-tartalma;
- és ez által a gázképződési potenciálja.

Az MBH technológiákat egyrészt lerakást megelőzően használják a maradék hulladék stabilizálására, másrészt az energetikai hasznosítás előkészítéseként. Alkalmazása az 1999/EK irányelvnek köszönhetően terjedt el.

Európában az MBH alkalmazásának helyzete különböző. Ott, ahol a maradék hulladék égetése jelentős mértékű (például Svájc, Hollandia, Dánia, Belgium, Luxemburg, Nagy-Britannia, Svédország), elenyésző az MBH alkalmazása. E példával ellentétben, Németországban ötven, Ausztriában tizenöt, Olaszországban száz MBH telep üzemel. Közép-Európában Lengyelország és Csehország, valamint hazánk tervezi a szélesebb körű alkalmazását.

A **7. táblázat** az MBH kapacitást mutatja be néhány európai országban.

7. táblázat. MBH kapacitás néhány európai országban [4]

Ország	MBH kapacitás, [ezer t/év]
Olaszország	7500
Németország	5600
Ausztria	3000
Spanyolország	2100
Lengyelország	500
Franciaország	300
Portugália	200
Horvátország	60
Összesen	19260

A számadatokat figyelve, a legtöbb teleppel Olaszország rendelkezik, ahol MBH kezelést folytatnak, majd Németország és Ausztria követi.

A maradék hulladék kezelésére alkalmazott stabilizálási eljárások két csoportba oszthatók:

1. mechanikai-biológiai stabilizálás;
2. mechanikai-fizikai stabilizálás.

5.1.1. Mechanikai-biológiai stabilizálás

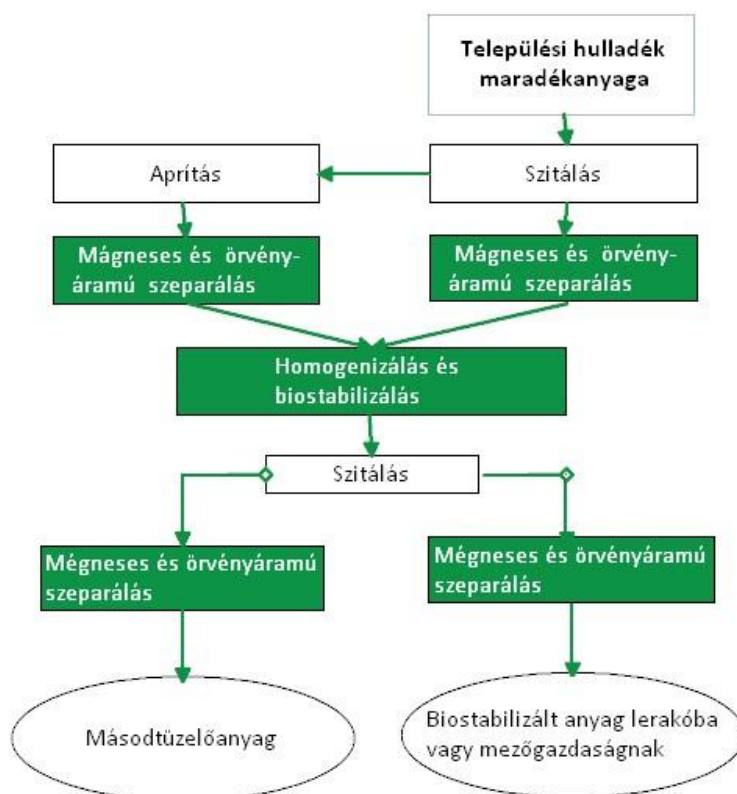
A mechanikai-biológiai stabilizálás általános célja egy nagy fűtőértékű komponensekben gazdag, és egy nagy fűtőértékű komponensekben szegény frakció előállítása, mely a lerakóba helyezés feltételeinek megfelel. A gyakorlatban két kezelési mód valósítható meg:

- a kezelendő hulladék nagy részének biológiai stabilizálása, majd az ehhez kapcsolódó lerakás;
- az értékes, nagy fűtőértékű rész lehető legnagyobb mértékben történő leválasztása; és az ehhez kapcsolódó biológiai stabilitást követő lerakás.

Az első esetben a hulladék nagy részét biológiai stabilizálással kezelik, majd ezután nyerik ki rostálással a másodlagos tüzelőanyag frakciót. A mechanikai előkészítés az aprítás, rostálás vagy szitálás műveleteiből tevődik össze, majd ezután a fémes frakciókat mágneses, a nem-vasfémeket örvényáramú szeparálással választják el. Mindezek után ellenőrzött körülmények között zárt, vagy részben zárt térben történik 3-4 héten keresztül a biológiai stabilizálás.

A már stabilizált anyagból rostálással választják ki az energetikai hasznosításra alkalmas anyagmennyiséget; a visszamaradó hulladékot lerakással ártalmatlanítják. Ebben az esetben is elvégezhető a mágneses vagy örvényáramú szeparálás. Az **6. ábra** a teljes mértékű, míg a **7. ábra** a részleges mértékű biológiai stabilizálást mutatja be.

5.1.1.1. Teljes mértékű biológiai stabilizálás



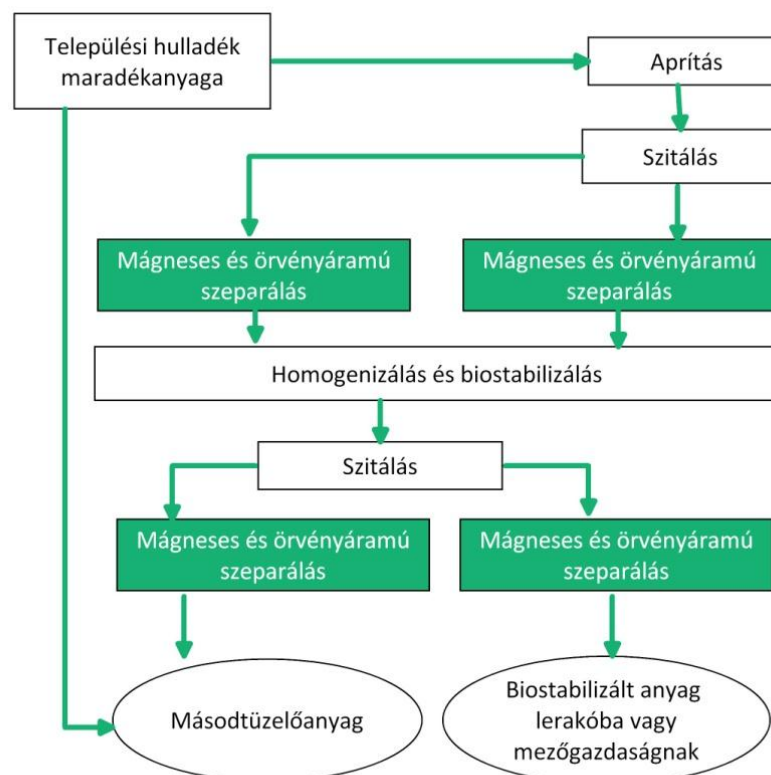
6. ábra. Teljes mértékű biológiai stabilizálás technológiai folyamata [10]

Az ábrán látható technológia magyarázata:

- A beérkező hulladék rostálása 100-130 mm szemcseméretnél megtörténik;
- a rostán fennmaradó frakció (felső rész) aprításra kerül;
- mindkét rész (rostaalsó és rostafelső) mágneses és örvényáramú szeparáláson megy keresztül;
- a két rész egyesítése, keverése következik homogenizálással egybekötve,
- ezt követi a biológiai kezelés;
- a biológiai kezelést követően 20-30 mm szemcseméretnél szitáláson esik át az anyag-
áram;
- majd következik a mágneses és örvényáramú szeparálás (mindkét oldali anyag ese-
tében);
- a rostaalsó terméket lerakóban helyezik el;
- a hasznos részek másodtüzelőanyag-ként használhatóak.

A fenti ábrán bemutatott variáció biológiailag lebontott, víztelenített, kisebb fűtőértékű másodlagos tüzelőanyagot eredményez. Hátránya, hogy a teljes maradék hulladék mennyiségét kell biológiailag stabilizálni.

5.1.1.2. Részleges mértékű biológiai stabilizálás



7. ábra. Részleges mértékű biológiai stabilizálás technológiai folyamata [10]

A részleges mértékű biológiai stabilizálás technológiájának magyarázata pontokba szedve a következő:

- A beérkező hulladékmennyiséget aprítják;
- majd ezt követően rostálás történik 80-100 mm szemcseméretnél;
- mindkét frakció mágneses és örvényáramú szeparálása;
- a rostaalsó biológiai kezelése;
- a kezelést követően 20-30 mm szemcseméretnél rostálás;
- mindkét frakció újbóli szeparálása;
- a rostaalsó elhelyezése lerakóban.

Az ábrán bemutatott technológia esetében jelentősen kisebb hulladékhányadot kell biológiailag stabilizálni, mely nagyobb arányú, magasabb fűtőértékű másodlagos tüzelőanyag kinyerését teszi lehetővé. Ez esetben az MBH kezelés eljárás-technikai koncepciója a következő: a nagy fűtőértékű komponensek leválasztását a biológiai kezelés előtt kell elvégezni, mivel az értékes komponensek egy része (papír, karton) a biológiai kezelés során lebomlik. A biológiai kezelést követően az energetikai hasznosításra kerülő anyaghányadot rostálással választják el.

Az MBH eljárásokkal biológiailag lebontott, stabilizált, nedvességtartalmában erőteljesen csökkentett és magas fűtőértékű másodlagos tüzelőanyag nyerhető. A legegyszerűbb műszaki megoldásokkal a maradék hulladék kezelése során a feldolgozott mennyiség 25-30 % m/m-a, a bonyolultabb, és a legnagyobb hatásfokkal működő megoldásokkal 50-50 % m/m nyerhető vissza másodlagos tüzelőanyagként [4].

A biológiai stabilizálás során a tömegcsökkenés körülbelül 20-25 % m/m-re tehető, ami annak tudható be, hogy kezelés során a nedvességtartalom egy része vízgőz formájában a levegőbe kerül, valamint szén-dioxid is távozik. A stabilizált, lerakásra kerülő maradék részaránya eljárástól függően 15-45 tömegszázalék között mozog.

Az MBH eljárásokkal előállított szilárd másodlagos tüzelőanyag laza állapotú, ezért a gazdaságos szállításhoz azt tömöríteni, bálázni kell. A bálázási módszernek köszönhetően az anyag 1,5-2 évig változatlan formában tárolható; ez előnyös akkor, amikor az energetikai hasznosítást végző cég nem azonnal akarja felhasználni.

A mechanikai-biológiai stabilizálás egyik leghatékonyabb megoldása az ún. *szárazstabilizációs* eljárás. A lényege, hogy erőteljes levegőztetéssel érik el az anyag nedvességtartalmának csökkentését. Ez akár 15%-ra is lecsökkenhet. Ezen módszer célja többek között az inert tartalom csökkentése, és fémektől mentes magas fűtőértékű frakció kinyerése. E mellett a lerakandó hulladék mennyiségét is minimalizálni kell.

Európában jelenleg a legkorszerűbb megoldások a Herhof- és Biodegma-Gore-eljárások. Ez utóbbit Németországban alkalmazzák előszeretettel [4].

5.1.1.2.1. Herhof-eljárás

Az eljárás lényege, hogy a beérkező hulladékmennyiséget 150 mm alá aprítják, majd biológiai kezeléssel stabilizálják zárt rendszerben. A nedvességtartalom radikálisan lecsökken 15% alá. A szükséges levegő ellátását számítógépes rendszer vezérli, mindeközben figyelve a legfon-

tosabb paraméterek megfelelő értéken tartását. A rendszerből elvezetett csurgalékvizet (kondenzátumot) hőcserélőn keresztül vezetik el, így a beérkező levegőt előmelegíti. A szennyvizet tisztítják, hogy később visszaforgassák a biológiai rendszer optimális nedvességtartalmának beállítására. Ennek okán a rendszernek nincs szennyvíz-kibocsátása. Az elszívott levegőt a szabadba való kiengedés előtt regeneratív termikus, vagy biológiai szűréssel tisztítják.

A biológiai kezelést követően az anyag (körülbelül 70 tömegszázaléka) szállítószalagon keresztül jut el további kezelőegységekig, ahol mechanikai úton leválasztják a hasznosítható frakciókat, mely körülbelül 50-55 tömegszázalékát teszi ki a beérkezett anyagáramnak. A fémek és egyéb nemkívánatos anyagok leválasztására szeparációs módszereket alkalmaznak. Amennyiben az anyag értékesíthető, úgy tömörítik, azaz pelletálják vagy brikettálják.

E technológiát Németországban, Olaszországban és Belgiumban alkalmazzák, létesítményenként 120-140 ezer t/év kapacitással. Egy ilyen üzem telepítéséhez 2 ha (20 000 m²) terület szükséges. A beruházási költség elérheti a 35 millió eurós nagyságrendet is [4].

5.1.1.2.2. Biodegma-Gore-eljárás

Ezen az elven működő létesítmény üzemel Németország Neumünster nevű városában, melyet 2005-ben indítottak be, és évi 150 ezer tonna másodtüzelőanyag előállítására képes.

Az üzem egy MBH kezelő létesítményből, és egy, ezt kiegészítő tüzelőanyag-finomító egységből áll. A zárt fogadócsarnok úgy lett kialakítva, hogy abban 3 napra elegendő pufferkészlet álljon rendelkezésre. A mechanikai előkezelést három sor végzi, mely során 300 mm-es szemcseméretet kapnak. A továbbított anyagáramot 80 mm-es rostasoron vezetik át. A rostafelsőt légosztályozással tisztítják meg, s ez a tisztított anyag kerül át a tüzelőanyag-finomító részlegbe. A rostaalsó a szerves anyagokat tartalmazza. Minkét frakciót tisztítják, kinyerve belőle a fémeket.

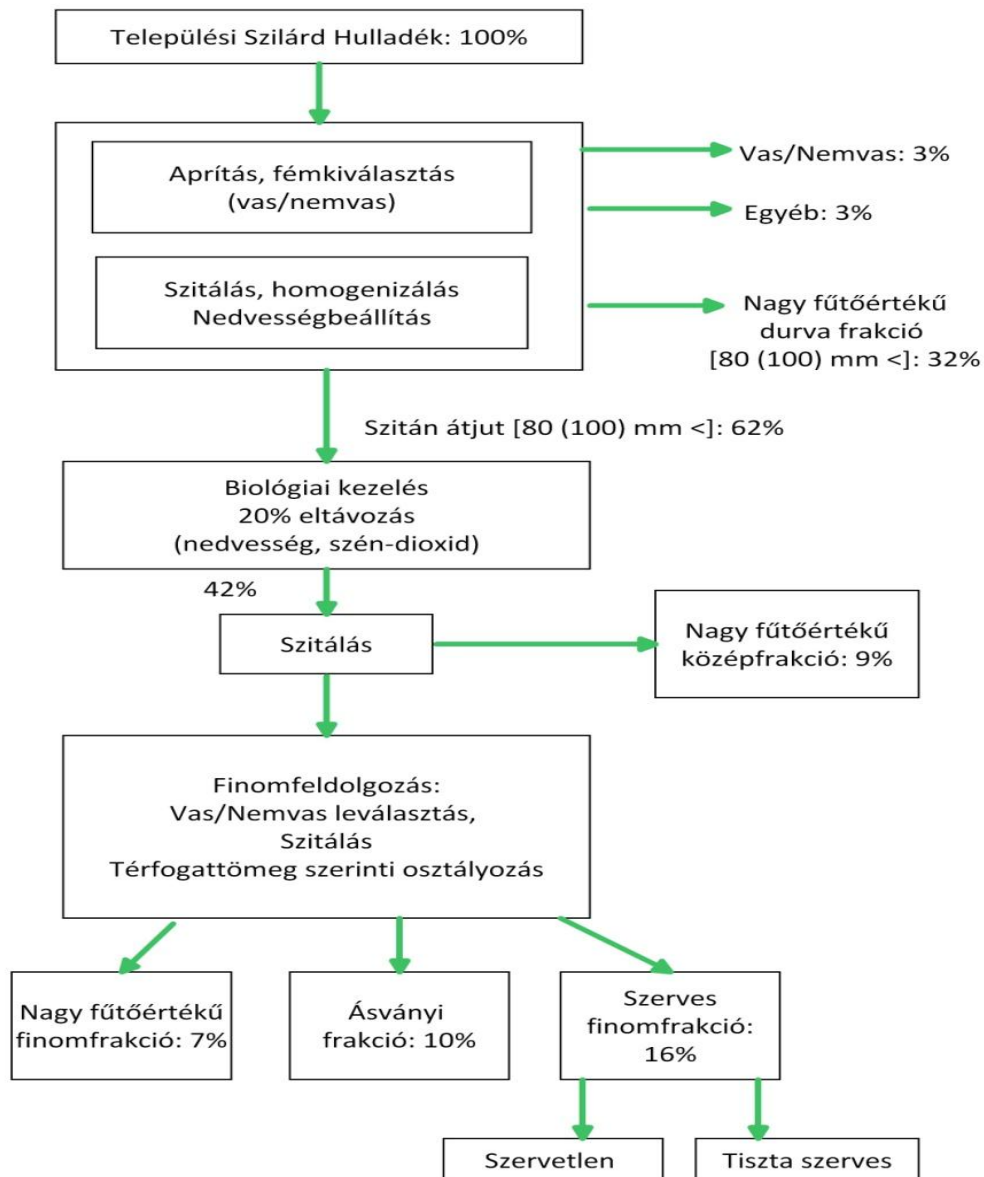
A biológiai stabilizáláshoz zárt rendszerű, 4 hetes kezelést alkalmaznak. A Gore-eljárás lényege, hogy egy szemipermeabilis⁴ réteggel takarják be a kezelendő anyagmennyiséget. A második hét folyamán erőteljes szellőztetést alkalmaznak, így a nedvességtartalom 30% alá redukálódik.

Miután a stabilizálás megtörtént, ismételt rostálás következik, melynek a lyukmérete ebben az esetben 40 mm. A finomfrakciót légosztályozással tisztítják meg a nemkívánatos frakcióktól (üveg, kerámia, kő), melyek lerakóban kerülnek. A fémek kinyerését is elvégzik. A 40-80 mm durva frakciót összekeverik a finomfrakcióval, majd együttesen kerülnek be a finomító egységbe.

Finomításra azért van szükség, hogy az égetőműben lévő fluidágyas kazán jó minőségű másodlagos tüzelőanyagot kapjon.

Az előzőekben részletezett Biodegma-Gore-eljárást mutatja be a **8. ábra**.

⁴ Féligáteresztő hártya. Olyan vékony válaszfal amely - elsősorban molekulatömegtől függően - bizonyos anyagokat átereszt másokat nem.

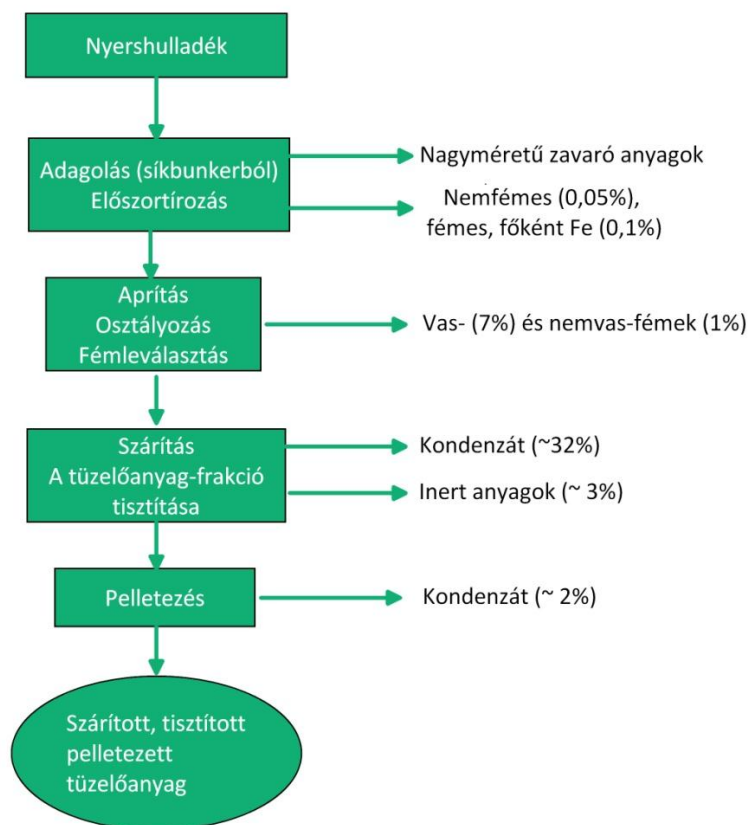


8. ábra. A Biodegma-Gore-eljárás technológiai folyamata [10]

5.1.2. Mechanikai-fizikai stabilizálás

Az eljárás célja olyan szilárd tüzelőanyag előállítása, melynek a nedvességtartalma elég alacsony (10%-nál kevesebb), és nem tartalmaz egyéb zavaró anyagokat (fém, üveg, kerámia stb). A kinyert laza tüzelőanyag frakciót hő bevezetésével szárítják, és szeparálási módszerekkel tisztítják, végül pedig pelletálják, vagy brikettezik.

A mechanikai-fizikai eljárás technológiai megvalósítását a **9. ábra** mutatja be.



9. ábra. Mechanikai-fizikai stabilizálás technológiai folyamata [10]

E stabilizálás előnye, hogy a maradék hulladék karbontartalma csaknem teljes egészében energetikai hasznosításra kerül, továbbá a szárítással elérhető a lehető legkisebb nedvességtartalom, amire a pelletálás miatt van szükség.

A hátrányok közé sorolható, hogy túlzottan bonyolult és eszközigényes, a szárítás nagy hőenergia-igényű, a szárító levegőt és a kondenzvizet is tisztítani kell.

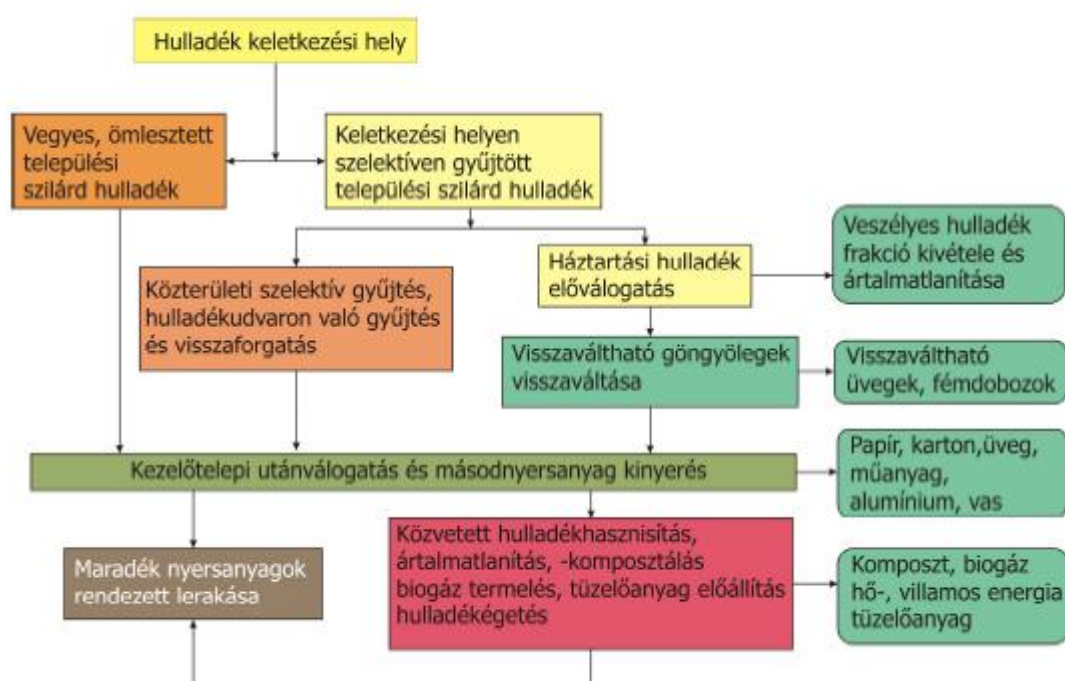
Megállapítható, hogy az európai gyakorlatban kizárólagosan csak a mechanikai-biológiai stabilizációs eljárásokat alkalmazzák. Az egyszerűbb MBH technológiákkal, melyek rendszerint aprítást, rostálást és fémleválasztást tartalmaznak, majd biológiai stabilizálás követi, általában megelégszenek, mely eredményeképp 10-12 MJ/kg fűtőértékű termék állítható elő 25-30% hatásfokú kinyerés mellett.

Az egyes eljárások közötti választást döntően a maradék hulladék összetétele és mennyisége, továbbá az energetikai hasznosítás módja határozzák meg.

6. Települési hulladékok energetikai hasznosítása

A hulladékok kezelésének többféle módja ismert. Amennyiben más lehetőség nincs, a térfogat és tömeg csökkentésére a legmegfelelőbb eljárás a közvetlen energetikai célú felhasználás, azaz különböző hulladékégetési technológiákat alkalmazva hő- vagy villamosenergia előállítása, mely történhet *elgázosítással, hőbontással, vagy égetéssel*.

A **10. ábra** mutatja be a települési szilárd hulladékok hasznosításának általános folyamatábráját.



10. ábra. A települési szilárd hulladék hasznosításának általános folyamatábrája [3]

A közvetett hulladékhasznosítás témaköréből számunkra most a legfontosabb a hulladékégetés. Hogy milyen eljárások ismeretesek, ezeket mutatják be a következő fejezetek.

6.1. Termikus hasznosítás

A települési szilárd hulladékok nagymennyiségben tartalmaznak olyan anyagokat, melyek energetikai céllal hasznosíthatók. Többféle termikus eljárás ismert, mint például az elgázosítás vagy a hőbontás [11]. Már 1995-ben, Európában a hulladékok 17%-át égetéssel kezelték [12]. Az előző két módszerrel szemben, megfelelően beállított légfelesleggel ($n=1,5-2,0$) dolgoznak, hogy az oxidáció tökéletesen végbemenjen. Nézzük meg ezeket a technológiákat!

6.1.1. Elgázosítás

Elgázosítás során a levegőtényező értéke 1-nél kisebb, mely részleges oxidációt eredményez. Ezzel a technológiával szinte valamennyi hulladék feldolgozható, de az előkészítés igényesebb, mint a többi eljárásnál. A folyamat eredményeképp nyers gáz keletkezik, valamint visszamarad a megolvadt szervesetlen égési maradék. Miután a gáz tisztítása megtörtént, energetikailag hasznosítható [13].

6.1.2. Hőbontás

Hőbontás (pirolízis) során külső hevítés történik, mely során a hulladék 400-700 °C hőmérsékletre melegszik fel. Ebben a hőmérséklet-tartományban szabadulnak fel az éghető illók. A folyamat végén visszamarad a salak. A nagy karbontartalmú anyagoknál probléma, hogy a pirolízis során nem alakul át a teljes mennyiség, és hasznos alkotók maradnak a salakban.

A parciális pirolízisre az jellemző, hogy csak annyi égési levegőt juttatnak be az égéstérbe, hogy az előírt hőmérséklet-tartomány alakuljon ki. A keletkező füstgáz az első (pirolízis) kamrából további égetőkamrába áramlik. E folyamat első lépcsőjében a hulladék részlegesen pirolizál, és részlegesen oxidálódik, de a pirolitikus reakciók vannak túlsúlyban. Így ezt a technológiát nevezhetjük pirolitikus égetésnek is. Több változata ismert, mint például a Schwel-Brenn, vagy a Babcock-eljárás.

Mindkét esetben a hulladékot 450 °C hőmérsékletű forgódobba vezetik, ahol megtörténik a pirolízis. Az S-B-eljárásnál a keletkező svélgázt közvetlenül bevezetik a nagyhőmérsékletű égetőkamrába, míg a másik módszernél ciklonba vezetik, hogy a porrészek leváljanak, és csak ezután következhet a gáz égetése [13].

6.1.3. Égetés

Az égetés olyan kezelési eljárás, mely során a hulladék anyagi minősége megváltozik; oxidáció során a szervesanyag-komponensek éghető gázokká alakulnak át, majd füstgáz formájában távoznak a füstcsatornában [11]. A visszamaradt, éghetetlen alkotók salakként maradnak vissza. Mivel a dolgozat szilárd települési hulladékok (közvetlen) energetikai célú hasznosításával foglalkozik, ezért erről a technológiáról bővebben fogok szólni.

7. Hulladékégető művek Európában és Magyarországon

A hulladékégetés a gyakorlatban legelterjedtebben alkalmazott termikus eljárások közé tartozik, többek között azért, mert műszakilag kiforrott, és megfelelő ismeretanyag áll rendelkezésre az elmúlt évtizedekből. Ezek mellett hatékony és higiénikus kezelési mód. Némely európai országban, ahol az anyagában való újrahasznosítást és a szelektív gyűjtést magas színvonalon üzik, mégis a műanyag hulladékok termikus hasznosítása mellett döntöttek.

7.1. Hulladékégetők Európában

Európa régióit tekintve jelentős különbségek vannak, de folyamatosan növekszik az égetés aránya. Az EU-ban és Svájcban összesen 400 kommunális hulladékégető üzemel. A közép-európai régiót tekintve Csehországban 3, Magyarországon 1, Ausztriában kilenc ilyen üzem működik. Ausztriában és Lengyelországban további égetőművek telepítését tervezik; összesen 11-et.

Az elmúlt években a 180 hulladékégetőt zártak be. Mindezt azért tették, mert elavultak voltak, s a helyükre lépett 100 új üzem a kiesett kapacitást gond nélkül pótolja úgy, hogy az emissziós követelményeknek is maradéktalanul eleget tesznek.

Németország, Franciaország valamint a Benelux államok, és a skandináv országok mellett az utóbbi években az Egyesült Királyságban, Spanyolországban, Portugáliában is előtérbe került a kommunális hulladékégető művek létesítésének kérdése. Az elmúlt évek tapasztalatai ugyanis azt mutatják, hogy a nagyobb városok, sűrűn lakott régiók számára egyértelműen a hulladékégetés kínálja a legjobb megoldást.

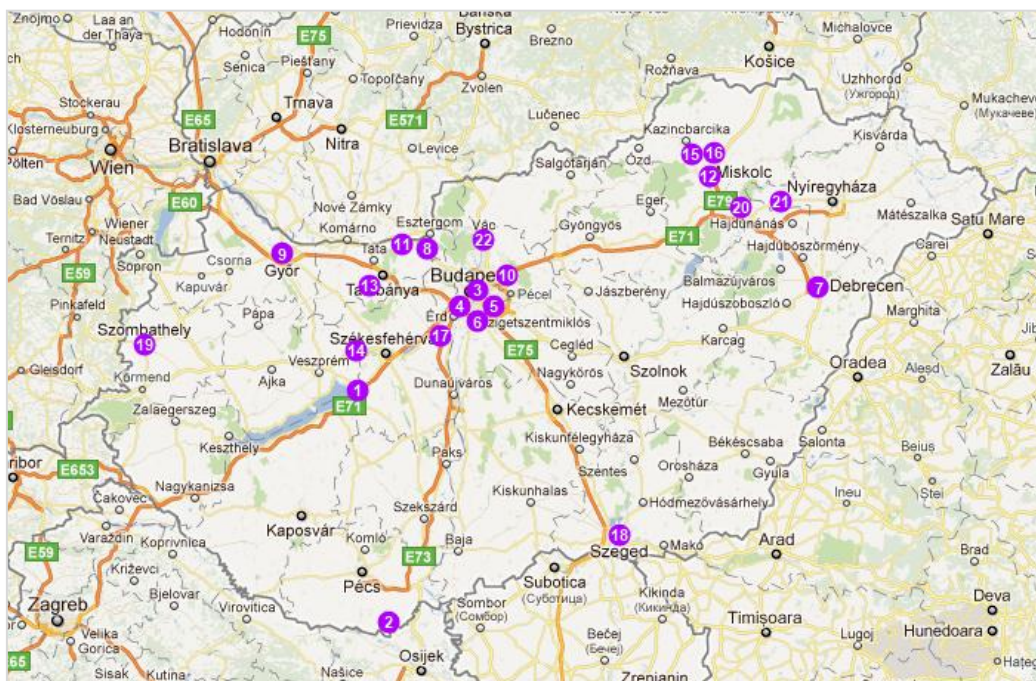
A **11. ábra** láthatók az Európában üzemelő kommunális hulladékégetők. Az ország nevét követően a feketével írt adatok az égetőművek számát jelölik, míg a piros jelzés az elégetett mennyiségre vonatkozik, millió tonnában kifejezve.



11. ábra. Európai hulladékégetők [4]

7.2. Hulladékégetők Magyarországon

Hazánkban több nagyvárosában üzemel égető mű, melyek többnyire együttégetést valósítanak meg (például működő cementművek esetében). Az egyik felmérés alapján a **12. ábra** mutatja be ezeket a városokat.



12. ábra. Magyarországon üzemelő hulladékégetők

A térképen számozott városok listája, és az üzemelő hulladékégetők kapacitását mutatja be a **8. táblázat**.

8. táblázat. Települési hulladékégetők és kapacitásuk [14]

Sorszám	Település	Hulladékégetés	Kapacitás [t/év]
1.	Balatonfűzfő	Veszélyes és nem veszélyes	7 200
2.	Beremend	Veszélyes és nem veszélyes	30 000
3.	Budapest	Kommunális	420 000
4.	Budapest XIV. ker.	Veszélyes és nem veszélyes	3 025
5.	Budapest XIX. ker.	Nem veszélyes	7 000
6.	Budapest XV. ker	Nem veszélyes	6 400
7.	Debrecen	Veszélyes	1 400
8.	Dorog	Ipari és kórházi veszélyes	35 000
9.	Győr	Ipari és kórházi veszélyes	8 000
10.	Kistarcsa	Veszélyes és nem veszélyes	751
11.	Lábatlan	Veszélyes és nem veszélyes	8 000
12.	Miskolc	Gumiabroncs, műanyag	12 000
13.	Oroszlány	Olajos és szilárd festékes	700
14.	Pétfürdő	Desztillációs maradékok égetése	3 200
15.	Sajóbábony	Veszélyes és nem veszélyes	17 600
16.	Sajóbábony	Gumi és műanyag	40 000

Sorszám	Település	Hulladékégetés	Kapacitás [t/év]
17.	Százhalombatta	Veszélyes	26 000
18.	Szeged	Kórházi	750
19.	Szombathely	n. a.	1 480
20.	Tiszaújváros	Veszélyes	7 200
21.	Tiszavasvári	Veszélyes	5 080
22.	Vác	Veszélyes és nem veszélyes	13 000

A településeken keletkező kommunális hulladék legnagyobb mennyiségben Budapesten válsul meg, mely évi 420 000 t-át jelent. Győrben az ipari és kórházi veszélyes hulladékokon kívül a lakossági és intézményi hulladékok begyűjtése és égetése is folyik.

Az összesített adatokat figyelve, körülbelül 654 000 tonna hulladékot égetnek el évente a felsorolt városokban működő égetők. Ennek a 64%-a kommunális hulladék (ha csak a budapesti adatokat figyeljük, és eltekintünk más, kisebb égetőművektől).

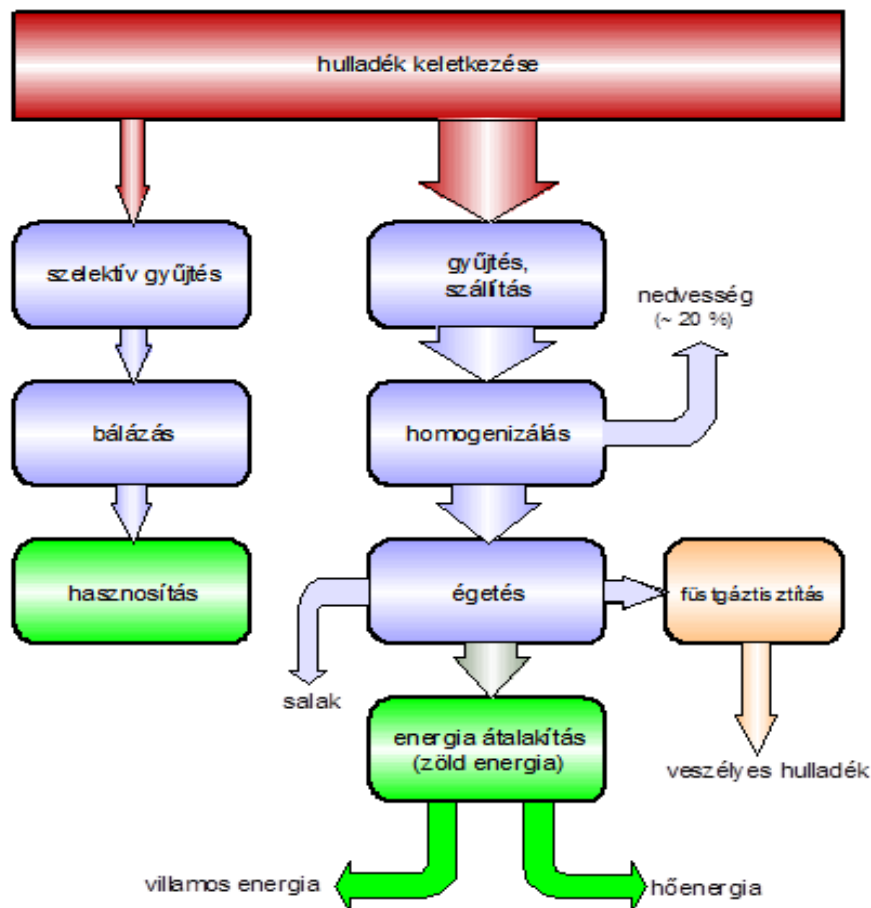
Konklúzióként kimondható, hogy az ártalmatlanítás egyik bevált formája az égetés (vagy együttégetés). Ez a jövőben még nagyobb ütemben valósulhat meg, egyre korszerűbb és jobb hatásfokú technológiával. Hazánkban is van létjogosultsága e kérdésnek, hiszen hasznos energia állítható elő, mellyel – még ha minimálisan is – tudjuk csökkenteni az energiafüggőségünket.

8. Szilárd hulladékok égetése

Az 7. fejezetben különböző termikus eljárásokról esett szó. Számunkra most ezek közül a legfontosabb az *égetési technológia*. Égetésre azok a hulladékok kerülnek, melyeket előzőleg megfelelően válogattak, és abban nem maradtak olyan alkotók, amik problémát okozhatnak. A hulladékégetés több évtizedes fejlesztőmunka és a sok üzemelő létesítmény gyakorlati tapasztalatinak eredményeképpen, műszaki és technológiai vonatkozásban jelenleg a legkiforrottabb ártalmatlanítási eljárás.

A hulladékártalmatlanítás a hulladékoknak a környezetvédelmi és közegészségügyi szempontból megfelelő végső feldolgozása vagy elhelyezése, amelynek célja a hulladék környezetre nem káros, környezetet nem szennyező állapotba hozása. A feldolgozások ártalmatlanítása eljárások többsége egyúttal valamilyen hasznosítási elemet is tartalmaz (esetünkben égetés, melyből hőenergiát és villamos energiát is előállíthatunk) [15].

A termikus hasznosítás egyszerűsített folyamatábrája a **13. ábra** látható.

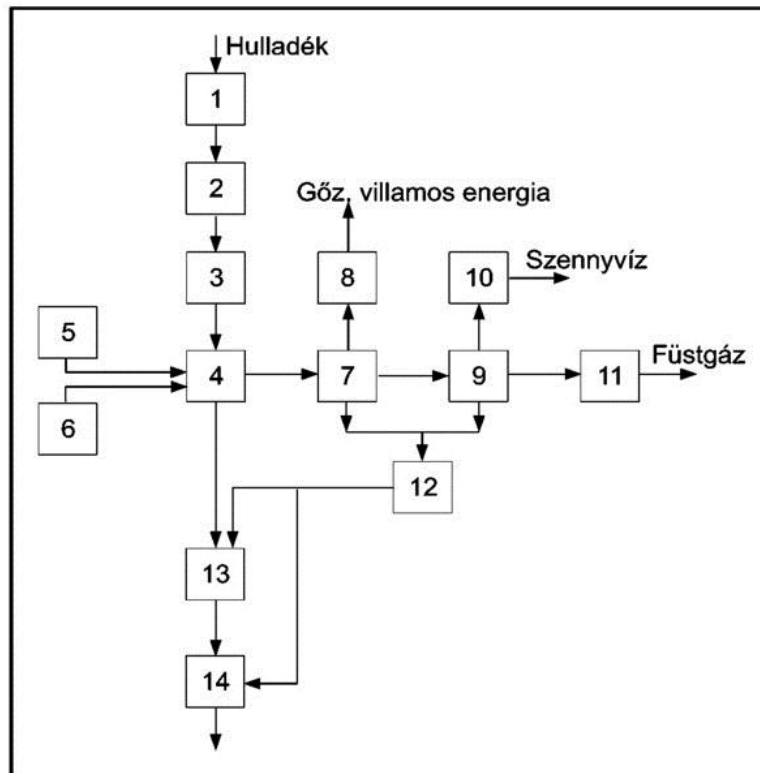


13. ábra. Hulladékok termikus hasznosítása [16]

A hulladékokkal – keletkezésüket követően – két dolog történhet: vagy hasznosítjuk őket (anyagában történő újrahasznosítás, vagy újrahasználat), vagy energiát állítunk elő belőlük. Az ábrát figyelve kétféle energiafajta állítható elő: villamos- és hőenergia (használati melegvíz, vagy távhőszolgáltatás). Kiseb arányban alkalmazzák a hulladékokból felszabaduló éghető gázokat speciális technológiai folyamatokban, mint például gázüzemű hőkezelő kemencék fűtésére.

8.1. A hulladékégetés technológiai folyamata

A **14. ábra** láthatók azok a folyamatok, melyek a telephelyre érkezést követően történnek a begyűjtött hulladékkal. Természetesen, ez csak egy általános folyamatábra; bizonyos országokban ettől eltérhetnek (főként a füstgáztisztításra vagy a mosóvíz-kezelésre gondoljunk).



14. ábra. Az égetés technológiai folyamata [17]

1. Tárolás, 2. Anyag-előkészítés, 3. Adagolás, 4. Égetés, 5. Póttüzelőanyag, 6. Levegő, 7. Füstgázhűtés, 8. Hőhasznosítás, 9. Füstgáztisztítás, 10. Mosóvíz-kezelés, 11. Kémény, 12. Pernyeleválasztás, 13. Salakgyűjtés és –kihordás, 14. Salak- és pernyetárolás

Miután a tárolás, anyag-előkészítés és a beadagolás megtörtént, következik a hulladék égése. Erre a folyamatra jellemzőket tárgyalja a következő alfejezet.

8.2. Az égés jellemzői

Az égetésre kerülő hulladékok szervesanyag-tartalma a légszennyezőanyagokkal bevitte oxigénnel reagál, majd éghető gázokká alakul át, legalább 800 °C-on. A keletkezett füstgáz a kéményen keresztül távozik. A folyamat végén szervesanyagok (salak, pernye) maradnak vissza.

Ahhoz, hogy az égés tökéletes legyen, nem elegendő, de szükséges feltétele a levegőtényező megfelelő beállítása (ami 1,5-2 is lehet akár). Bizonyos esetekben póttüzelésre is sor kerülhet, amely olaj- vagy gázégőkkel valósul meg. A hatékonyság növelhető jó áramlási viszonyok biztosításával is, melyet mechanikai eszközökkel valósíthatunk meg (mozgó rostély, forgó kemence, bolygató szerkezet)[11].

A különféle hulladéktípusok esetében különféle égetési eljárások alkalmazhatóak, de nem minden égetési eljárás alkalmas minden hulladéktípus termikus kezelésére. A **települési szilárd hulladék** számos tüzelési rendszerben égethető, pl. különböző mozgó rostélyszerkezetben, forgódobban és fluidágyban. A fluidágyas technológia a kommunális hulladék égetésére csak bizonyos mérettartományon belül alkalmazható, ezért ebben az esetben bizonyos mértékű előkezelés, és/vagy a hulladék szelektív gyűjtése válhat szükségessé [4]. Most tekintsük át a leggyakrabban alkalmazott technológiákat!

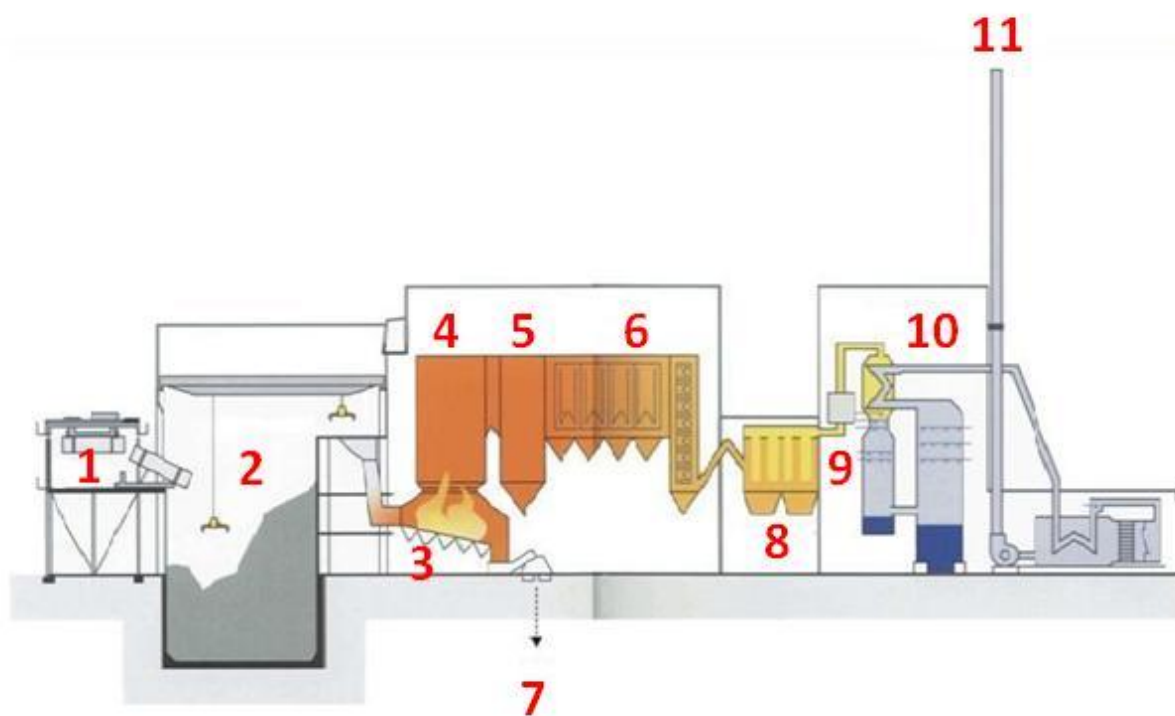
9. A hulladékégetés berendezései

A hulladékégetés leggyakrabban alkalmazott berendezéseit mutatom be ebben a részben. Három kategóriáról érdemes bővebben szólni: rostélytüzelésről, forgódobos, valamint fluidágyas technológiáról. Újabban a plazmatechnológia alkalmazására is folynak kísérletek, de erről most nem esik szó.

9.1. Rostélytüzelésű hulladékégető berendezések

A rostélytüzelést széles körben alkalmazzák a kevert kommunális hulladék égetésére. Európában a TSZH-t kezelő hulladékégetők 90%-a alkalmazza. A rostélytüzelésű égetőművekben rendszeresen kezelt egyéb hulladékok (gyakran a TSZH-hoz adva) az alábbiak: kereskedelmi és ipari nem-veszélyes hulladékok, szennyvíziszapok és bizonyos kórházi hulladékok [4].

A **15. ábra** a rostélytüzelés technológiai sorrendjét szemlélteti (a **2. sz. melléklet** részletesen ismerteti a Fővárosi Hulladékégető Mű technológiai sorrendjét, ahol szintén rostélytüzelést alkalmaznak).



15. ábra. A rostélytüzelés technológiai sorrendje [18]

1. Konténertovábbító, 2. Hulladékbunker, 3. Vándorrostély, 4. kazán, 5. Túlhevítő, 6. Hőcserélők, 7. Salak, 8. Porleválasztó, 9. Aktív szénműtrő, 10. Füstgázmosó (félszáraz), 11. Kémény

A konténerrel beérkező hulladék a hulladékbunkerba kerül, ahonnan az égetésre kerülő adagot beemelik a kazán adagolónyílásába, majd innen a tűztérbe kerül. A tűztérkialakítások sokfélék lehetnek, általában az alakját a választott rostély típusa határozza meg. A rostély fe-

adata az elégetendő anyag keresztüszállítása a kazánon, illetve átforgatás és fellazítás. Előfordulhat, hogy az apróbb szemű hulladék átesik, azaz rostélyáthullás történik. A felgyülemlett anyagot összegyűjtik, és visszatáplálják [4].

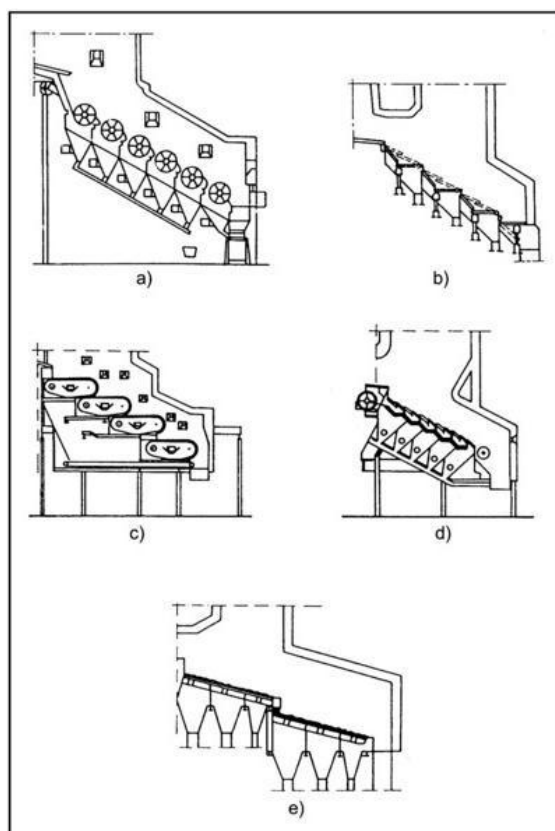
A rostélyok kialakítását illetően többféle megoldás terjedt el. Mivel ez az egyik legfontosabb részegysége a kemencének, ezért erről részletesebben szólok.

9.1.1. A tüzelőrostély

A tüzelőrostély feladata az elégetendő anyag keresztüszállítása a kemencén, eközben az anyag átforgatása, fellazítása. A primer égéslevegő a rostélyon lévő kisméretű nyílásokon keresztül áramlik be az anyagágyba. Annak érdekében, hogy tökéletes égés valósuljon meg, a hulladékágy feletti részbe is vezetnek levegőt. A finomszemcsés anyagoknál gyakran előfordul, hogy áthullik, ezt külön összegyűjtik, majd visszajuttatják az égetendő anyaggal.

Megkülönböztetjük a folyamatos (forgó- és láncrostély), valamint a nem-folyamatos (tolórostély) hulladékadagoláson alapuló rendszereket.

A **16. ábra** a leggyakrabban alkalmazott rostélytípusokat tüntettem fel.



16. ábra. Rostélytípusok

- a) hengerrostély, b) lengőrostély, c) lépcsős vándorrostély, d) visszatoló rostély, e) lépcsős előtoló rostély [19]

9.1.1.1. Hengerrostély

A hengerrostély egy rostélypálcákból összeállított henger, amely keresztezi a rostélyzónát. A kemencében több ilyen hengert helyeznek el egymás után; a keverést az biztosítja, amikor a hulladék az egyes hengerekről lehullik.

9.1.1.2. Lengőrostély

A rostélyelemek a tüzelőanyag beadagolására merőlegesen helyezkednek el. A váltakozó sorokat felfelé és előre irányuló mozgást létrehozva mechanikusan forgatják vagy rázzák, így biztosítva a hulladék előrejutását és keveredését.

9.1.1.3. Vándorrostély

A vándorrostély a kemence hosszában fut végig, mely végtelenített fémhevederek sorozatának tekinthető. Modern hulladékégetőkben ritkán alkalmazzák, mivel a hulladék bolygatása csak akkor megoldott, ha az egyik hevederről a másikra jut az anyagáram.

9.1.1.4. Visszatoló rostély

A rostély-pálcasorok a hulladék áramlási irányával ellentétesen oda-vissza mozognak. A rostély a beadagolás helyétől a salakkihordó felé lejt, és álló valamint mozgó sorokból áll.

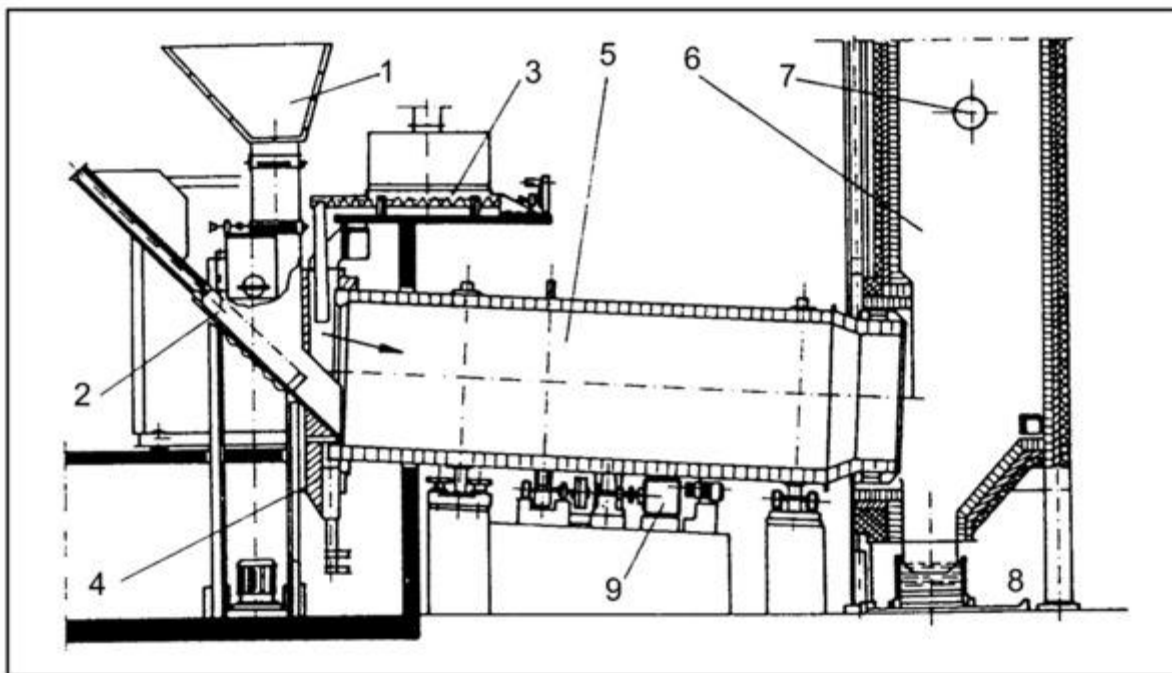
9.1.1.5. Lépcsős előtoló rostély

A rostély pálcasorai nagyszámú lépcsőt formálnak, melyek vízszintes oda-vissza mozgást végeznek, és a hulladékot a salakkihordó felé mozgatják.

9.2. Forgódobos kemencék

A forgódobos kemencék robusztus méretükről ismeretesek. Elterjedten használják a cementiparban klinker égetésére, a timföldgyártásban kalcinálásra. Hulladékégetésben is elterjedt, de leginkább veszélyes és kórházi hulladékokat semmisítenek meg bennük. Kommunális hulladékok égetése e típusnál nem terjedt el oly nagymértékben, mint a rostélytüzelésű berendezések esetében [4].

A forgódobos kemence metszete a **17. ábra** tanulmányozható.



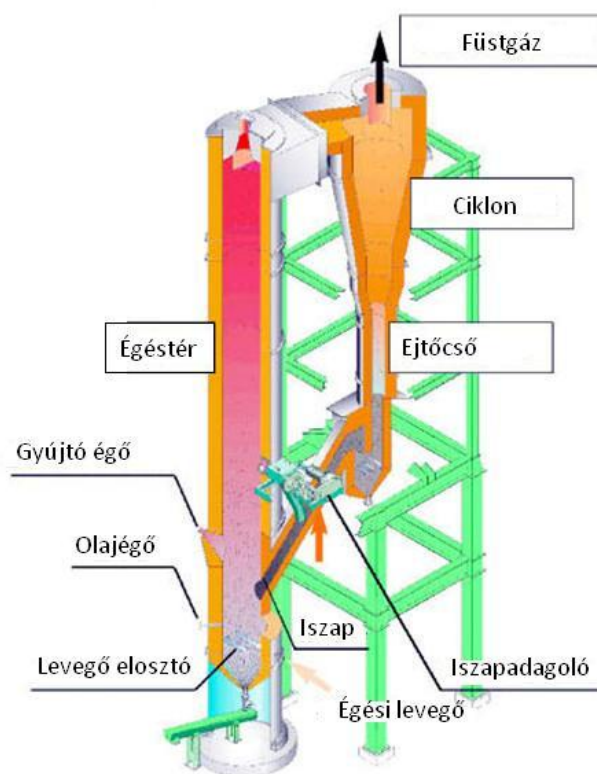
17. ábra. Forgódobos kemence metszetének vázlata [18]

1. Adagológarat szilárd anyag számára, 2. Hidraulikus adagológép, 3. Csigás adagoló iszapok számára, 4. A kemence fejrésze, 5. Kifalazott forgódobos kemence, 6. Utóégető tér, 7. Folyékony hulladék égetése, 8. Nedves rendszerű salakkihordó, 9. Hajtómű

Forgódobos kemencékben szilárd, folyékony és gáznemű hulladékok, valamint az iszapok egyaránt égethetők. A szilárd anyagokat általában nem forgó adagoló garatokon keresztül juttatják be; a folyékony hulladék az égő fúvókákon keresztül esetleg közvetlenül a kemencébe fecskendezhető, a szivattyúzható hulladékok és az iszapok pedig vízhűtésű csövön át juttathatók a tűztérbe [4].

9.3. Fluidágyas kemencék

Ezt a kemencetípust előszeretettel alkalmazzák finomszemcsés hulladékok égetésére, mint például előkezeléssel kinyert másodlagos tüzelőanyag (RDF, magyarul MBH), valamint szennyvíziszapok égetésére. Tűzterének kialakítását tekintve függőleges henger alakú. A kemence aljában, tartó rostélyon vagy elosztó tárcsán inert anyagból (pl. homok, hamu) álló réteg helyezkedik el, melyet a rostélyon átfújt levegőáram tart folyamatos mozgásban. Az elégetendő hulladékot felülről vagy oldalról folyamatosan adagolják a fluidizált homokágyba. A fluidizált ágyban a hulladék kiszárad, kigázosodik, meggyullad és kiég. Az ágy feletti szabad térben a hőmérséklet általában 850°C és 950°C közt van [4]. A 18. ábra egy ilyen kemencetípust mutat be, mely szennyvíziszap égetésére alkalmas.



18. ábra. Szennyvíziszap égetésére alkalmas fluidágyas kemence vázlata [20]

A fluidágyas kemencék több típusa terjedt el, attól függően, hogy milyen hulladéktípus égetését szeretnék megvalósítani. Így megkülönböztetünk:

- nyugvó (vagy buborékos) fluidágyas kemencét,
- cirkofluidágyas kemencét,
- forgó fluidágyas kemencét,
- szórt láncrostély-rendszerű fluidágyas kemencét.

A termikus hasznosítás előtt a hulladékokat laboratóriumi vizsgálatok előzik meg. Ezeket az eljárásokat tárgyalja a következő fejezet.

10. Szilárd hulladékok vizsgálati módszerei

Ahhoz, hogy egy anyagról megállapítsuk, tüzelésre alkalmas-e vagy sem, különböző laboratóriumi vizsgálatokat kell elvégezni, mint például égéshő és nedvességtartalom, hamutartalom és hamulágyulás vizsgálata. Ezen kívül az elemanalízist (CHNS), valamint a derivatográfus mérést is érdemes elkészíteni. Ezeket a módszereket részletesen kidolgozott szabványok írják elő, melyek alapján a következő fejezetekben ismertetem az eljárások rövid menetét.

10.1. Nedvességtartalom meghatározása

Egy tüzelőanyag fűtőértékét jelentősen befolyásolja, hogy az mennyi nedvességet tartalmaz. Minél nagyobb ez az érték, annál rosszabb hőtechnikai tulajdonságok jellemzik. Természete-

sen megfelelő tárolással, vagy plusz energia befektetésével csökkenthető, de igen nagy mennyiségű víz esetén a szállítás is megkérdőjelezhető. Ezért, még mielőtt az anyagot termikusan hasznosítanánk, a nedvességtartalom kérdését is tisztázni kell.

A laboratóriumi vizsgálatot az MSZ 24000-23: „Szenek laboratóriumi vizsgálata. A nedvességtartalom meghatározása” c. szabvány szerint kell elvégezni [22]. Az alapfogalmak definíciója látható a következő fejezetben.

10.1.1. Alapfogalmak

A vizsgálatokor kétféle: a durva és a higroszkópos nedvességtartalmat különböztetjük meg. A kettő együtt adja az összes nedvességet. A fogalmak és jelölésük a következő:

- Durva nedvesség (W_{ex}): az összes nedvességnek az a része, amely a minta szárításánál a légszáraz állapot eléréséig elpárolog;
- Higroszkópos nedvesség (W_h): az összes nedvességnek az a része, amely a tüzelőanyagban a légszáraz állapotra való szárítás után is megmarad; ez 105 ± 2 °C-os hőmérsékleten történő szárításkor távozik el;
- Összes nedvesség (W_t): a durva nedvesség és a higroszkópos nedvesség összege;

A nedvességtartalmat egy-, és kétlépcsős módszerrel lehet meghatározni. Az egylépcsős eljárásnál a durva és a higroszkópos nedvességtartalmat együtt, míg a másik módszerrel külön-külön határozzuk meg.

10.1.2. Durva nedvesség meghatározása

A durva nedvességet laboratóriumi hőmérsékleten szárítva, vagy szárítószekrényben, 40-50 °C hőmérsékleten tartva lehet meghatározni, melyet előzőleg mintatartó edénybe helyeztünk, és analitikai mérlegen lemértünk. Amennyiben szárítószekrényben tároljuk a mintát, legalább 8 órán keresztül szárítani kell. A vizsgálandó tüzelőanyag szemnagysága legfeljebb 20 mm lehet.

10.1.3. Higroszkópos nedvesség meghatározása

A légszáraz tüzelőanyag higroszkópos nedvességtartalmát a durva nedvességtartalom meghatározása után szárítással határozzuk meg 105-110 °C-on.

10.1.4. Nedvességtartalom számítása

Kétféle számítási módszer alkalmazható a nedvességtartalom számításához: egy- és kétlépcsős. Az egylépcsős módszerrel meghatározott összes nedvességet, a durva nedvességet, a higroszkópos nedvességet és az elemzési minta nedvességtartalmát (W) százalékban az alábbi képlettel számíthatjuk ki:

$$W = \frac{m_1}{m} \cdot 100 \text{ [% m/m]} \quad (1)$$

ahol: m_1 a tömegcsökkenés a bemért minta szárításakor, g
 m a bemért minta tömege, g.

A kétlépcsős módszerrel meghatározott összes nedvességtartalmat eredeti állapotra a következő képlettel határozzuk meg:

$$W_t^r = W_{ex}^r + W_h \cdot \frac{100 - W_{ex}^r}{100} \quad [\% \text{ m/m}] \quad (2)$$

ahol: W_t^r az összes nedvesség eredeti állapotban, %
 W_{ex}^r a durva nedvesség eredeti állapotban, %
 W_h a higroszkópos nedvesség, %

10.2. Hamutartalom meghatározása

A szén, koks és egyéb szilárd tüzelőanyagok levegőben történő elégetése során hamu marad vissza, mely az eredeti tüzelőanyagban található szervesetlen komplexekből és ásványi anyagokból származik. E visszamaradt hamu mennyiségének meghatározása az MSZ-ISO-1171: „Szilárd ásványi tüzelőanyagok; A hamu meghatározása” szabvány szerint történik [23].

10.2.1. A mérés menete

Az elégetendő mintát ismert tömegű izzítóedénybe helyezzük, majd analitikai mérlegen tárázás után a tüzelőanyagot is lemérjük. Az adatok rögzítése után a szobahőmérsékletű kementébe helyezzük, és fokozatosan felfűtjük 815 °C-ig. Az elért hőmérsékleten tartjuk 60 percen át. Kivétel és lehűlés után a tömeg visszamérhető. Az eredmények ismeretében a hamutartalom meghatározható.

10.2.2. Hamutartalom számítása

A minta hamujának mennyiségét (A-t) tömegszázalékban kifejezve kapjuk meg, melyet az alábbi összefüggés határoz meg:

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \quad [\% \text{ m/m}] \quad (7)$$

ahol: m_1 az izzítóedény tömege, g;
 m_2 az izzítóedény, és a minta tömege, g;
 m_3 az izzítóedény, és a hamu tömege, g.

10.3. CHNS elemanalízis

A tüzelőanyagok elemi összetételének meghatározása alatt a szerves vegyületek elemi összetevőinek (azaz karbon-, hidrogén-, kén-, nitrogén- és oxigéntartalmának) mennyiségi analízi-

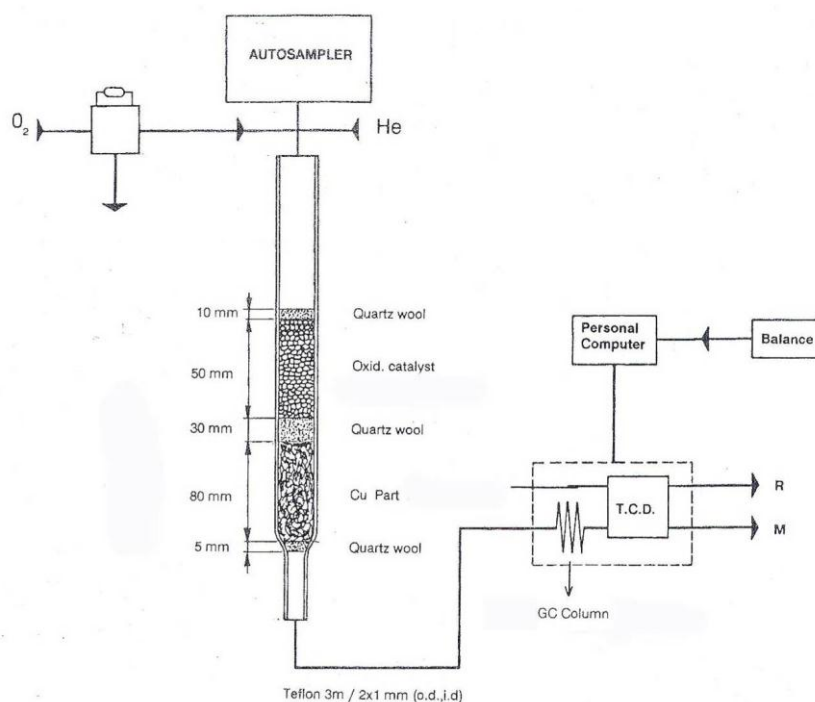
sét értjük. Az elemi összetételre több okból kifolyólag is szükségünk lehet: fűtőérték meghatározáshoz, égésméleti számításokhoz, stb.

Az égési tulajdonságok szempontjából a tüzelőanyag C-, H- és O-tartalma a legfontosabb, a kén- és nitrogéntartalom a környezetszennyezés és a korrózió szempontjából lényeges paraméter.

A tüzelőanyagok elemi összetételének meghatározására számos módszert fejlesztettek ki a különböző korok technikai színvonalának megfelelően. Szinte valamennyi eljárás alapelve, hogy a vizsgálandó tüzelőanyagot tökéletesen elégetik, és a keletkező füstgázból következtetnek annak összetételére. Jelen vizsgálat során a karbon, hidrogén és kéntartalom műszeres meghatározására vonatkozó MSZ, ISO, DIN, vagy CEN szabványok alapján Carlo Erba EA 1108 típusú elemanalizátorral végeztem a méréseket.

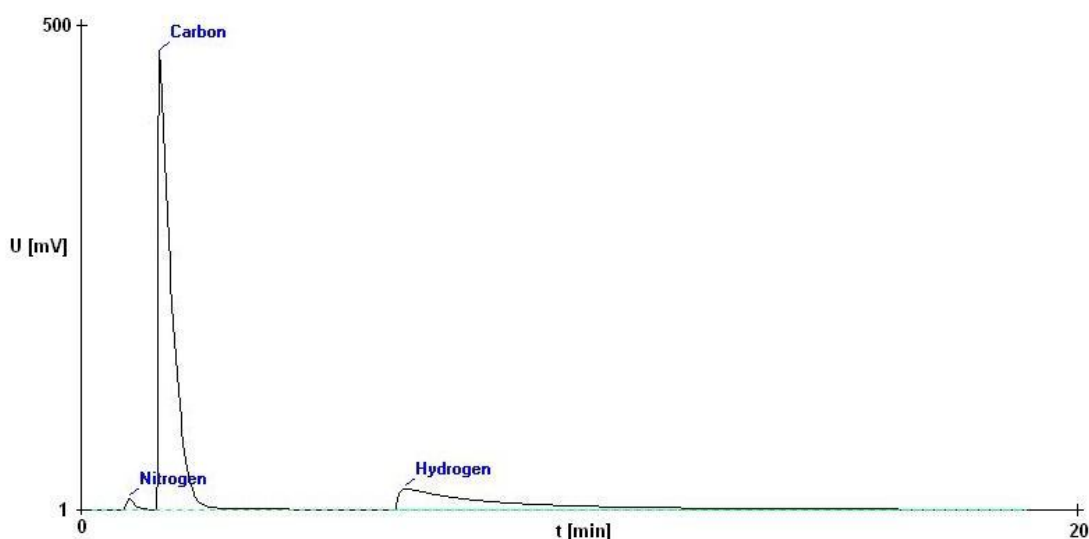
10.3.1. A mérés elve

A minta nagy hőmérsékleten, oxidáló közegben történő gyors és tökéletes elégetése (ún. flash combustion) minden szerves és szervetlen komponenst égésterméké alakít. A képződő gázhalmazállapotú égéstermékek hélium vivőgáz segítségével oxidáló és redukáló zónákon való átáramoltatás után kromatográfiás oszlopra jutnak, ahol komponenseikre (CO_2 , H_2O , N_2 , SO_2) szétválnak. A szétválasztott gázkomponensek észlelése hővezetőképesség-detektorral történik. Az elemanalizátor elvi felépítési sémáját a **19. ábra** mutatja be.



19. ábra. Carlo Erba EA 1108 típusú C, H, N, S, O elemanalizátor elvi felépítése

Egy valós mintán végzett mérés eredményeképp kapott tipikus kromatogram látható a **20. ábra**.



20. ábra. Az elemanalizátor szolgáltatta tipikus feszültség-idő függvény, mely alapján a minta N, C és H tartalma számszerűen meghatározható

10.4. Égéshő és fűtőérték meghatározása

A mérést az MSZ-24000-5: „Szenek laboratóriumi vizsgálata. Az égéshő meghatározása és a fűtőérték kiszámítása” c. szabvány szerint kell elvégezni [21]. A vizsgálat megkezdése előtt az ide vonatkozó fogalmakat tisztázni kell.

10.4.1. Alapfogalmak

- Az **égéshő (H_a)** az a hőmennyiség, ami a tüzelőanyag tömegegységének tökéletes elégetésekor felszabadul; az égés utáni maradékok: fel nem használt oxigén, szén-dioxid, nitrogén, kén-dioxid gázhalmazállapotban, a (hidrogén égéséből és a nedvességből származó) **víz folyékony**, a hamu pedig szilárd **halmazállapotban** lesz jelen.
- A **fűtőérték (H_u)** az a hőmennyiség, ami a tüzelőanyag tömegegységének tökéletes elégetésekor felszabadul, az égési maradékok közül a **víz gőz halmazállapotban** lesz jelen.

Az égéshő és a fűtőérték között az alapvető különbség az, hogy egyik esetben folyékony halmazállapotú víz keletkezik, míg a másik esetben pedig a tüzelőanyag elégetése után a víz gőz halmazállapotban van jelen (és távozik a füstgázzal).

A *gyakorlatban* egy tüzelőanyagot a fűtőértékével jellemzünk, mivel annak elégetése után a távozó füstgázzal együtt vízgőz is kilép a kéményen keresztül. A keletkező füstgáz hőmérséklete eléri a 200 °C-ot, így érthető a vízgőz jelenléte a rendszerben.

Laboratóriumi körülmények között az égéshő meghatározására van lehetőség, majd a fűtőérték számítható a víz párolgáshőjének figyelembe vételével (amely 25 °C-on 2,449278 kJ/g).

10.4.2. Égéshő meghatározásának elve

Az égéshő meghatározására laboratóriumi körülmények között *kalorimétert* használunk. A mérés elve a következő: ismert tömegű mintát nagynyomású (2,5 – 3,5 MPa) oxigénnel töl-

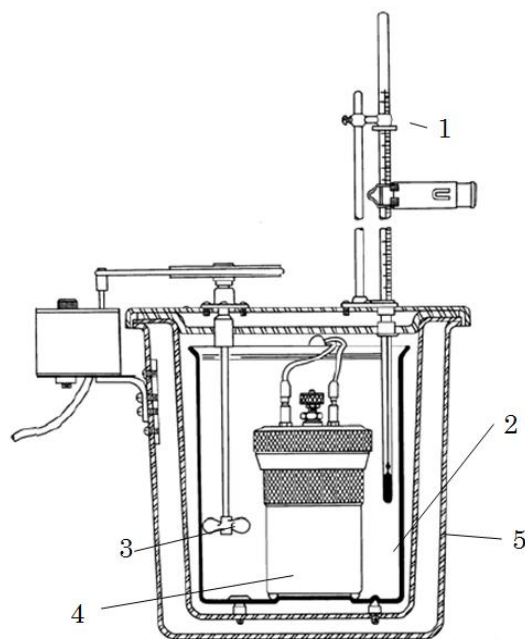
töltött vastagfalú edénybe helyezünk, majd elégetjük; ekkor a felszabaduló hő felveszi a bomba, és átadja az őt körülvevő ismert tömegű víznek, aminek a hőmérsékletemelkedése arányos az égéskor felszabadult energiával. A mért értékek segítségével meghatározható az égéshő.

10.4.3. A mérőeszköz felépítése

A méréseket a „PARR-6200” típusú kaloriméterben végeztem el. A műszer a következő fontosabb részekből áll:

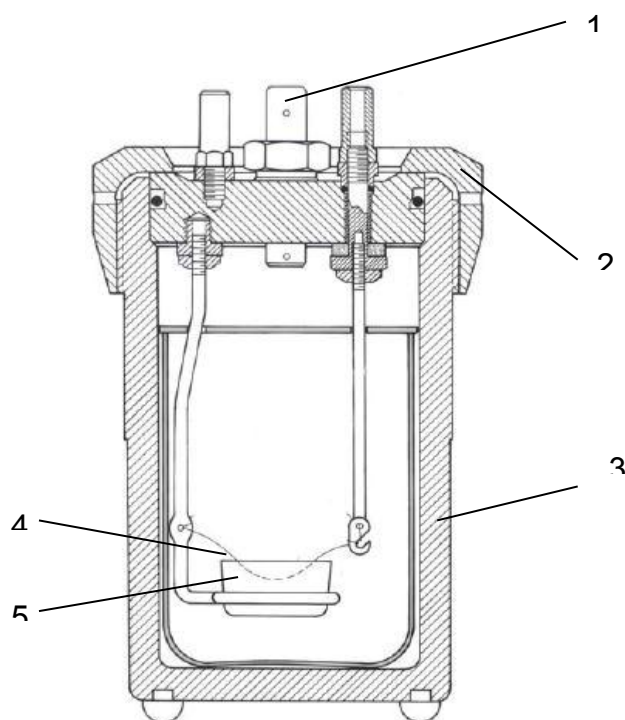
- A **bomba** rozsdamentes acélból készült nyomástartó edény, melyet a desztillált vízzel töltött kaloriméter edénybe kell helyezni;
- A **kaloriméter edényt** úgy kell elhelyezni, hogy az a környezettől minél jobban el legyen szigetelve.
- A **keverőlapát** az edényben lévő víz keverésére szolgál, mely ezáltal homogenizálja a vízben lévő hőmérséklet-eloszlást, úgy, hogy mindenütt azonos legyen a hőmérséklet.
- A **hőmérő** a víz hőmérsékletének folyamatos mérésére szolgál,
- egy **köpeny** választja el az edényt a külső környezettől, ami vízhűtéssel van ellátva. Erre azért van szükség, hogy a rendszer adiabatikus legyen.

A (bomba) kaloriméter felépítését az **21. ábra** szemlélteti. A kaloriméterbe helyezendő bomba fontosabb részeit **22. ábra** mutatja be.



21. ábra. Bomba kaloriméter elvi felépítése

1. Hőmérő, 2. Desztillált víz az edényben, 3. Keverőlapát, 4. Bomba, 5. Külső köpeny



22. ábra. Bomba metszete

1. Oxigén bevezetés, 2. Csavaros fedél, 3. Bombatest, 4. Gyújtóhuzal, 5. Mintatartó tégely

10.4.4. Számítások

A rendelkezésre álló mintánk égéshőjének és fűtőértékének számításához a kaloriméter vízértékét kell először meghatározni. Amennyiben ez megvan, jöhet a H_a és H_u számítása.

10.4.4.1. Vízérték meghatározása

Ez az érték fejezi ki a kaloriméter teljes hőkapacitását, értve ezen a bombát, az edényt és a benne lévő vizet. Az egyes részek hőkapacitásának meghatározása nehézkes lenne, így az egész rendszerre vonatkozóan kell egy értéket felvenni. Erre a célra alkalmas az ismert égéshőjű benzoésav-pasztilla, mely tiszta oxigénben reprodukálható körülmények között tökéletesen elég. A kalibrálás során felszabaduló hőmennyiség és a pasztilla ismert tömege alapján számítható a vízérték. Az alábbi (1)-es egyenlet segítségével számítható ez az érték:

$$V_{\text{kal}} = \frac{m_{\text{Benzoe}} \cdot H_{a,\text{Benzoe}} + \Sigma b}{dT} \quad [\text{kJ}/^{\circ}\text{C}] \quad (3)$$

ahol:	V_{kal}	a kaloriméter vízértéke, $\text{kJ}/^{\circ}\text{C}$,
	m_{Benzoe}	a kalibráló anyag tömege, kg,
	$H_{a,\text{Benzoe}}$	a kalibráló anyag égéshője, kJ/kg ,
	Σb	idegen anyagokból fellépő égéshő értéke (pl. gyújtózsín), kJ,
	dT	hőmérsékletemelkedés, $^{\circ}\text{C}$.

A „ Σb ” korrekciós tag a *gyújtózsín*or elégetésekor keletkező többlet hőt veszi figyelembe. Ezt minden egyes mérés után meg kell határozni. A bombában, nagy tisztaságú oxigénben, nagy nyomáson a minta égése során is lejátszódhatnak olyan *mellékreakciók*, melyek normál körülmények között nem mennének végbe. Az ilyenkor felszabaduló hőt is figyelembe kell venni.

10.4.4.2. Égéshő számítása

A kaloriméter vízértékének (V_{kal}), valamint a vizsgálat során fellépő hőmérsékletemelkedés ismeretében számítható a minta égéshője ($H_{a,minta}$). A (4)-es egyenlet mutatja be a számítás menetét.

$$H_{a,minta} = \frac{V_{kal} \cdot dT - \Sigma b}{m_{minta}} \quad [kJ/kg] \quad (4)$$

ahol:	$H_{a,minta}$	a vizsgálandó minta égéshője, kJ/kg,
	V_{kal}	a kaloriméter vízértéke, kJ/°C,
	dT	hőmérsékletemelkedés a minta vizsgálatakor, °C.
	Σb	a gyújtózsínor elégetéséből származó többlet hő, kJ
	m_{minta}	a vizsgálandó minta tömege, kg

A gyújtózsínor elégetésekor felszabaduló hő mennyiségének számítása az alábbi, (3)-as összefüggés alapján lehetséges:

$$\Sigma b = \frac{F \cdot 4,1868}{1000} \quad [kJ] \quad (5)$$

ahol:	F	a visszamaradt gyújtózsínor mérete.
-------	-----	-------------------------------------

10.4.4.3. Fűtőérték számítása

Az égéshő ismeretében számítható a tüzelőanyag fűtőértéke abban az esetben, ha rendelkezésre áll az elemanálízis során (lásd később) kapott hidrogéntartalom (H), és ez alapján meghatározott nedvességtartalom (W_t). A fűtőérték számítását a (4)-es képlet írja le:

$$H_u = H_{a,minta} - 24,49278 \cdot (9 \cdot H + W_t) \quad [kJ/kg] \quad (6)$$

ahol:	H_u	a vizsgált minta fűtőértéke, kJ/kg,
	$H_{a,minta}$	a vizsgálati minta előzőleg meghatározott égéshője, kJ/kg
	H	a minta hidrogéntartalma, % m/m,

W_t a minta nedvességtartalma, % m/m (nedves minták esetében az összes nedvesség, száraz minta esetében 0)

A dolgozatban a számított fűtőértékeket teszem közzé, mivel a legnagyobb jelentősége ennek az értéknek van.

10.5. Differenciál termogravimetriai mérés

Az Erdey-Paulik féle elven működő derivatográfus vizsgálat lehetővé teszi a tüzelőanyagokban a hőmérséklet növelése hatására zajló folyamatok (dehidratációs, illókiválási, oxidációs, égési, stb.) nyomon követését.

A derivatográfiai vizsgálat a legösszetettebb termikus elemzési módszerek közé tartozik. A termikus elemzési módszerek a vegyületekben, illetve több komponensű rendszerek esetén a vegyületek között, hő hatására végbemenő kémiai reakciók, illetve fizikai átalakulások vizsgálatára szolgálnak.

A termikus folyamatok, akár kémiai reakcióról, akár állapot-, vagy halmazállapotváltozásról legyen is szó, mindig a rendszer belső hőtartalmának kisebb-nagyobb arányú megváltozásával járnak. Az átalakulást vagy hőelnyelési (endoterm), vagy hőfelszabadulási (exoterm) folyamatok kísérik. Ezeket a hőhatásokat a differenciál-termikus elemzés módszereivel meglehetősen nagy érzékenységgel és pontossággal lehet kimutatni. A legtöbb esetben az átalakulásokat tömegváltozás kíséri, ezen jelenségek különböző tényezőit a termogravimetria módszereivel lehet nagy pontossággal meghatározni.

A berendezés a vizsgálati eredményeket három görbével ábrázolja:

- **Termogravimetria (TG):** ez a görbe a hőmérséklet emelkedésének hatására a mintában bekövetkező tömegváltozást mutatja. Ez a tömegváltozás egyszerű függvénye.
- **Differenciál termogravimetria (DTG):** a termogravimetrikus görbék kiértékelésének nehézségei oda vezettek, hogy a TG-t szükségessé vált deriválni, ún. differenciál termogravimetrikus görbévé alakítani. Ahol a TG-nek inflexiós pontja van, ott a DTG görbén csúcs jelentkezik, ezáltal pontos képet mutatva a mintában lezajló folyamatokról.
- **Differenciál-termikus analízis (DTA):** ez a vizsgálati módszer azt a hőmennyiséget határozza meg, amely a vizsgálandó anyag felmelegítése, illetve hevítése esetén a hőtartalom-változással járó fizikai és kémiai változások miatt felszabadul vagy elnyelődik a rendszerben. A kapott görbe minimuma felé endoterm, míg a maximuma felé haladva exoterm folyamatokra utal [24].

11. Települési hulladékok vizsgálati eredményei

A Győrből és Csernelyből kapott mintákon – az előző fejezetekben felsorolt, és részletezett módszerekkel – méréseket végeztem. Győrből a tanszékre háromféle minta érkezett, melyek komposzt, lakossági bio, és MBH jelöléssel lettek ellátva. Ebben az esetben mind az öt vizsgálatra sor került. A Csernelyből érkezett hulladékok analízise a dolgozat írása alatt is folyamatosan tart, így az eddig kapott eredményeket közlöm.

A **10. táblázatban** összefoglalásképp, és a könnyebb áttekinthetőség végett mutatom be, hogy a rendelkezésre álló mintákon milyen mérések történtek.

10. táblázat. Elvégzett mérések összesítése

Mintára vonatkozó adatok		Vizsgálati módszerek				
Minta jelölése	Származási hely	Égéshő és fűtőérték	Nedvességtartalom	Hamutartalom	Termogravimetria	CHNS
Lakossági komposzt	Győr	✓	✓	✓	✓	✓
Lakossági bio		✓	✓	✓	✓	✓
MBH-Április		✓	✓	✓	✓	✓
MBH-Június		✓	✓	✓	✓	✓
Papír	Csernely	✓	✓	✓	✓	✓
Textil		✓	✓	✓	✓	✓
Műanyag		✓	✓	✓	✓	✓

A Csernelyből származó további frakciók (mint például éghető, higiéniai, kompozit) vizsgálata a közeljövőben fog megvalósulni.

11.1. Nedvességtartalom

Az egylépcsős módszerrel mért győri minták nedvességtartalmának alakulását a **11. táblázat** mutatja be. A méréseket háromszor ismételtük meg mintánként.

11.1.1. Nagyvárosi minták nedvességtartalma

A Győrben begyűjtött nyers mintákból a laboratóriumban végzett nedvességtartalom meghatározását követően a **11. táblázatba** kerültek az eredmények.

9. táblázat. Győri minták nedvességtartalma

Minta neve	Mérések sorszáma	Bemért minta tömege [g]	Nedvességtartalom [% m/m]
Lakossági bio	1	8,972	39,72
	2	13,802	37,60
	3	10,615	39,75
Átlag:			39,03
Komposzt	1	23,056	22,52

Minta neve	Mérések sorszáma	Bemért minta tömege [g]	Nedvességtartalom [% m/m]
	2	39,236	21,30
	3	27,999	20,31
Átlag:			21,38
MBH-Április	1	18,669	33,34
	2	15,894	32,78
	3	26,375	29,72
Átlag:			31,95
MBH-Június	1	4,673	19,56
	2	5,277	20,21
	3	5,361	18,49
Átlag:			19,42

Az adatokat elemezve láthatjuk, hogy a minták összes nedvességtartalma 19-39 % között változik. Ez energetikai szempontból kedvezőtlen. Ezért termikus hasznosítás előtt mindenképp szükséges szárítást végezni. A laboratóriumban a nyers mintát további szárításnak vetették alá.

11.1.2. Kistelepülési minta nedvességtartalma

A hasznos anyagok nedvességtartalmának vizsgálata a tanszék műhelycsarnokában valósult meg. A kiválasztott mintákat több mint 160 órán keresztül tartottam szobahőmérsékleten, hogy a durva nedvesség távozhasson belőlük. Az eredmények a **12. táblázatban** láthatók.

10. táblázat. Csernelyi minták nedvességtartalma

Frakció megnevezése	Bemért tömeg [kg]	Szárított minta tömege [kg]	Tömegváltozás, Δm [kg]	Nedvességtartalom [% m/m]
Papír	1,74	1,54	0,20	11,49
Kerti bio	4,04	3,40	0,64	15,84
Éghető minták	1,10	1,02	0,08	7,27
Higiéniai hull.	0,62	0,48	0,14	22,58
Textil	1,96	1,82	0,14	7,14
<20 mm	2,12	1,86	0,35	12,26
Kompozit	0,66	0,52	0,14	21,21

A műanyag frakciót (főleg ásványvizes palackok) nem vizsgáltam meg, hiszen elméletileg nem tartalmazhatnak nedvességet (kivéve abban az esetben, ha a hulladékgyűjtő edényben folyadékkal együtt helyezik el).

A legnagyobb nedvességet a higiéniai termékek esetében mértem, melyet a kompozitok követnek. Ez betudható annak, hogy a folyadékok (tej, gyümölcsle stb) kis hányada kidobást követően még a dobozában marad, és csak huzamos szárítás után távozik el.

A többi minta esetében is viszonylag nagy nedvességtartalom jellemző, melyet egy csapadékosabb évszak még jobban eltolhat; számunkra negatív irányba.

11.2. Hamutartalom

A beérkező mintákon, a vonatkozó szabvány alkalmazásával hamutartalom vizsgálatot végeztem.

11.2.1. Nagyvárosi minták hamutartalma

A hamutartalmat **a győri minták** légszáraz állapotában vizsgáltuk meg. A mérések eredményeit a **13. táblázatban** rögzítettem.

11. táblázat. Győrből érkezett minták hamutartalma

Minta neve	Mérések sorszáma	Bemért minta tömege [g]	Hamutartalom [% m/m]
Lakossági bio	1	1,034	54,19
	2	1,157	53,25
	3	1,112	54,02
Átlag:			53,82
Komposzt	1	0,973	56,59
	2	0,883	56,93
	3	1,108	56,88
Átlag:			56,80
MBH-Április	1	0,836	43,36
	2	0,705	45,77
	3	0,906	46,40
Átlag:			45,18
MBH-Június	1	1,757	58,14
	2	1,997	59,90
	3	1,714	59,15
Átlag:			59,07

A vizsgált anyagok döntő hányadában a hamutartalom több mint 50 % feletti. Ez tüzeléstechnikai szempontból hátrányos tulajdonság. Viszont, ha azt nézzük, hogy a termikusan hasznosított hulladékokat nem kell hulladéklerakókban elhelyezni, akkor az égetésük megfontolást igényel, hiszen hasznos helyek szabadulnak fel, még akkor is, ha ilyen mennyiségű maradékanyag keletkezik.

11.2.2. Kistelepülési minták hamutartalma

A Csernelyből érkezett, jelenleg rendelkezésre álló három minta hamutartalma a **14. táblázatban** rögzített adatok szerint alakult:

12. táblázat. Csernelyi minták hamutartalma

Minta	Hamutartalom [% m/m]
Papír	15,47
Textil	4,66
Műanyag	7,98

11.3. CHNS elemanalízis

Az elemi összetétel meghatározását a laboratóriumban végeztük el. Az eredményeket táblázatokban rögzítettem.

11.3.1. Nagyvárosi mintákon végzett elemanalízis

A négy győri minta elemanalízise során kapott eredményeket a **15. táblázatban** mutatom be.

13. táblázat. A győri minták karbon-, hidrogén-, nitrogén- és kéntartalma

Minta		C	H	N	S
Lakossági bio	1	15,83	1,46	1,40	0,00
	2	15,40	0,72	1,26	0,00
	3	18,14	0,85	0,53	0,00
	Átlag	16,46	1,01	1,06	0,00
	Eredeti nedves állapot	11,55	0,71	0,74	0,00
Komposzt	1	31,87	2,46	1,03	0,00
	2	28,23	1,32	0,31	0,00
	3	17,16	1,06	0,36	0,00
	Átlag	25,75	1,61	0,57	0,00
	Eredeti nedves állapot	21,73	1,36	0,48	0,00
MBH Április	1	22,27	1,45	0,53	0,00
	2	33,10	2,98	1,11	0,00
	3	27,90	2,33	1,19	0,00
	Átlag	27,76	2,25	0,94	0,00
	Eredeti nedves állapot	21,77	1,77	0,74	0,00
MBH Június	1	13,40	1,09	0,97	0,00
	2	15,12	1,36	1,03	0,00
	3	13,33	1,23	0,86	0,00
	Átlag	13,95	1,23	0,95	0,00
	Eredeti nedves állapot	10,99	0,97	0,75	0,00

A minták C és H tartalma (azaz az éghető anyagok aránya) alacsony. Ez szintén megfontolás tárgyát képezi az energetikai hasznosítást illetően. A kéntartalom minden esetben kimutatási határ alatt volt.

11.3.2. Kistelepülési mintákon végzett elemanalízis

A rendelkezésre álló három frakción elvégzett elemanalízis eredményeit a **16. táblázat** tartalmazza.

14. táblázat. A csernelyi minták karbon-, hidrogén-, nitrogén- és kéntartalma

Minta	C	H	N	S
Papír	38,1	4,79	0,89	0,00
Textil	51,93	6,31	1,67	0,00
Műanyag	76,45	7,66	0,66	0,00

Az eddig megvizsgált frakciók karbon- és hidrogéntartalma elegendő nagyságú ahhoz, hogy abból olyan keveréket állítsunk elő, mely égető-berendezésben önállóan is használható. A mérés kéntartalmat nem mutatott ki.

11.4. Fűtőérték

A Győrből és Csernelyből érkezett minták kaloriméterben történő vizsgálatát követően az égéshő adatok alapján számításra került a fűtőérték. A győri esetben a lakossági bio, komposzt és MBH minták, míg a kistelepülésről érkező hulladék frakcióit vizsgáltam meg.

11.4.1. Nagyvárosi minták fűtőértéke

A győri mintákra számított fűtőértékeket a mért égéshők, valamint az elemanalízisből kapott C és H tartalom alapján a **17. táblázatban** mutatom be.

17. táblázat – Győri minták égéshője és fűtőértéke

Minta		Égéshő légszáraz állapotban, [kJ/kg]	Égéshő eredeti nedves állapotban, [kJ/kg]	Fűtőérték, [kJ/kg]
Lakossági bio	1	5 010,17		
	2	4 985,90		
	3	4 994,51		
	Átlag	4 996,86	4 216,61	3 392,71
Komposzt	1	4 548,63		
	2	4 718,73		
	3	4 783,22		
	Átlag	4 683,53	3 287,17	2 174,40
MBH Április	1	9 514,59		
	2	9 155,27		
	3	9 581,79		
	Átlag	9 417,22	7 386,02	6 214,40
MBH Június	1	6 591,88		
	2	6 412,86		
	3	6 878,19		
	Átlag	6 624,64	5 700,12	5 011,86

A vizsgált tüzelőanyagok fűtőértéke kicsi a nagy nedvességtartalom miatt. Ezek önálló tüzelésre így nem alkalmasak. Ez az érték szárítással növelhető. Így 12-16 MJ/kg fűtőértékű, értékes tüzelőanyag nyerhető.

11.4.2. Kistelepülési minták fűtőértéke

A laboratóriumi mérések alapján a rendelkezésre álló adatok segítségével a három frakció fűtőértékei a **18. táblázatban** láthatók.

15. táblázat – Csernelyi szilárd hulladékfrakciók égéshője és fűtőértéke

Minta	Égéshő [kJ/kg]	Fűtőérték [kJ/kg]
Papír	14 138,10	12 837,3
Textil	21 032,20	19 543,8

Minta	Égéshő [kJ/kg]	Fűtőérték [kJ/kg]
Műanyag	34 473,20	35 755,4

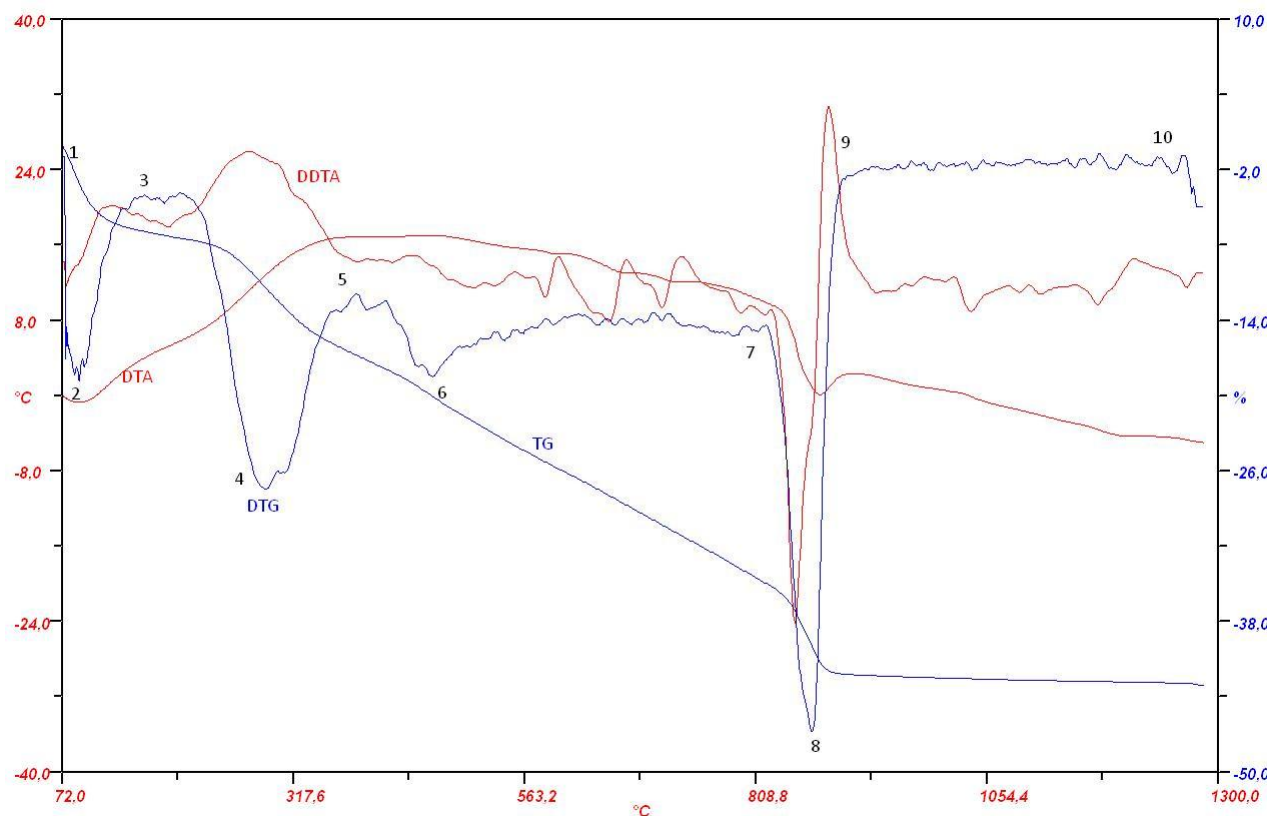
A települési szilárd hulladék szétválogatása után az éghető frakciók fűtőértéke megfelelő, jövőbeli termikus hasznosításuk megfontolást tárgya lehet. A műanyag minta rendelkezik a legnagyobb fűtőértékkel, ami vetekszik a földgázéval.

11.5. Derivatogramok

11.5.1. Nagyvárosi minták derivatogramjai

A differenciál termogravimetriai vizsgálatok során négy **győri mintáról** (lakossági bio, komposzt és MBH-A, MBH-J) készültek derivatogramok. Minden esetben légszáraz állapotra vonatkoznak az értékek (nedves állapotban a vizsgálat nem végezhető el). A diagramok a **23. ábra** láthatók.

11.5.1.1. Komposzt minta derivatogramja



23. ábra. Győri Komposzt minta derivatogramja. A minta tömegváltozásai és hőeffektusai a hőmérséklet függvényében

16. táblázat. Győri komposzt minta derivatogramjaihoz tartozó jellemző értékek

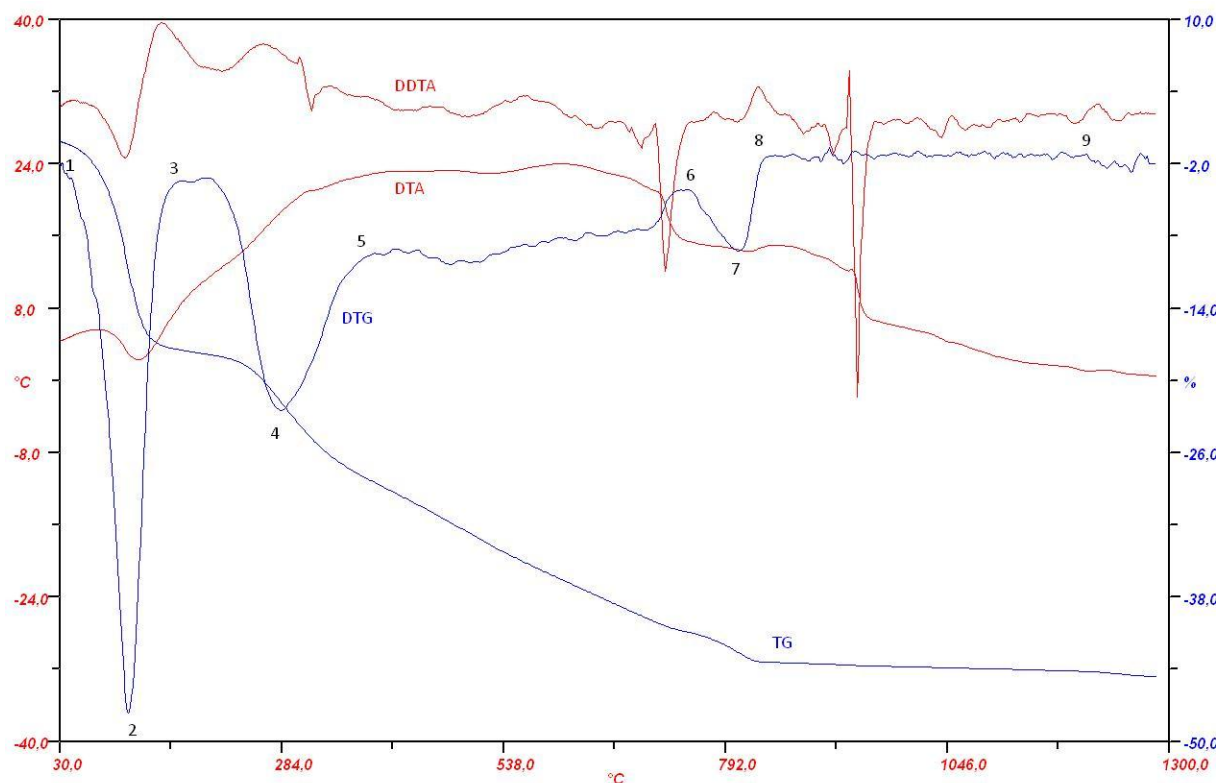
Pontok	Hőmérséklet T, °C	Tömegváltozás TG, %	Hőmérsékletkülönbség DTA, °C	Tömegváltozás sebessége DTG
1	73	-0,7	0,0	-0,1
2	88	-2,8	-1,4	-0,7

Pontok	Hőmérséklet T, °C	Tömegváltozás TG, %	Hőmérsékletkülönbség DTA, °C	Tömegváltozás sebessége DTG
3	153	-6,8	-0,3	3,7
4	287	-11,4	-2,2	12,8
5	381	-16,7	-0,9	16,9
6	464	-19,9	-1,4	17,0
7	820	-35,1	-1,2	9,8
8	868	-40,0	-3,8	0,9
9	914	-42,3	0,1	2,3
10	1263	-43,0	0,0	-4,6

A **komposzt** minta derivatogramjából megállapítható legfontosabb jellemzők:

- a legintenzívebb nedvességtávozás hőmérséklete $T_{w, \max} = 88 \text{ °C};$
- a száradás befejeződésének hőmérséklete $T_{w, 0} = 154 \text{ °C};$
- az illók kiválásának kezdőhőmérséklete $T_{ill, kezd} = 200 \text{ °C};$
- az illók begyulladásának kezdő hőmérséklete $T_{ill, gyull} = 240 \text{ °C};$
- az illók leggyorsabb kiválásának hőmérséklete $T_{ill, \max} = 290 \text{ °C};$
- az illók kiválásának véghőmérséklete $T_{ill, vég} = 500 \text{ °C};$
- az intenzív égés hőmérséklettartománya $T_{int, ég} = 240-840 \text{ °C};$
- az égés teljes befejeződésének hőmérséklete $T_{égés, bef} = 840 \text{ °C}.$

11.5.1.2. Lakossági bio minta derivatogramja



24. ábra. Győri Lakossági bio minta derivatogramja. A minta tömegváltozásai és hőeffektusai a hőmérséklet függvényében

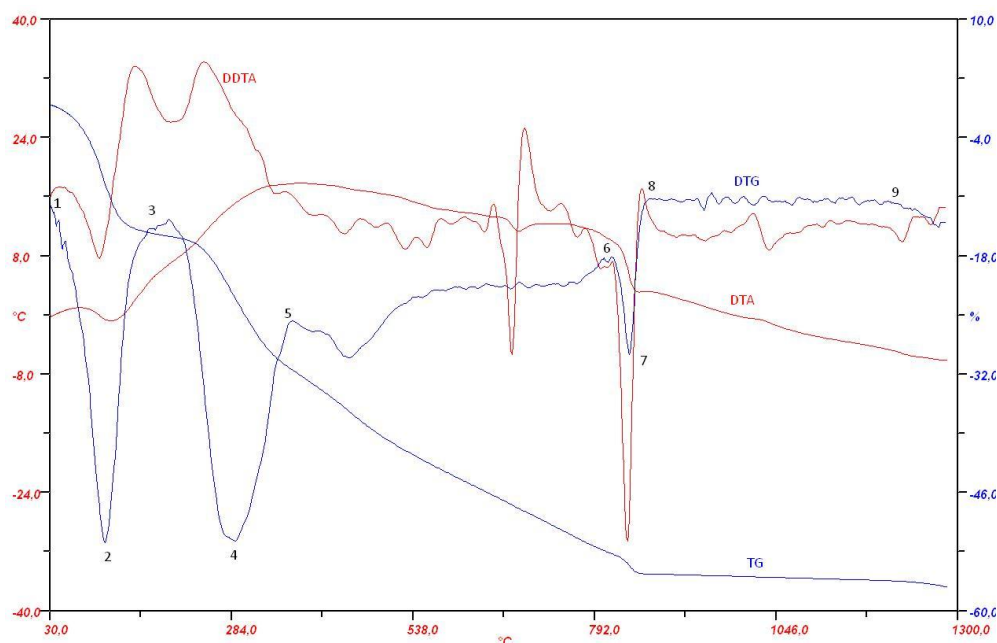
20. táblázat. Győri Lakossági bio minta derivatogramjához tartozó jellemző értékek

Pontok	Hőmérséklet T, °C	Tömegváltozás TG, %	Hőmérsékletkülönbség DTA, °C	Tömegváltozás sebessége DTG
1	32	-0,2	-0,1	4,4
2	110	-11,3	-6,4	2,9
3	194	-17,8	-0,3	10,9
4	280	-21,7	-2,9	18,6
5	400	-28,9	-1,2	23,1
6	746	-40,8	-0,4	15,5
7	806	-42,7	-1,1	14,5
8	841	-43,4	-0,1	14,9
9	1272	-44,6	-0,1	0,6

A **lakossági bio** minta derivatogramjából megállapítható legfontosabb jellemzők:

- a legintenzívebb nedvesség eltávozás hőmérséklete $T_{w, \max} = 110\text{ °C};$
- a száradás befejeződésének hőmérséklete $T_{w, 0} = 164\text{ °C};$
- az illók kiválásának kezdőhőmérséklete $T_{\text{ill, kezd}} = 200\text{ °C};$
- az illók begyulladásának kezdőhőmérséklete $T_{\text{ill, gyull,}} = 220\text{ °C};$
- az illók leggyorsabb kiválásának hőmérséklete $T_{\text{ill, max}} = 280\text{ °C};$
- az illók kiválásának véghőmérséklete $T_{\text{ill, vég}} = 400\text{ °C};$
- az intenzív égés hőmérséklet tartománya $T_{\text{int, ég}} = 220\text{--}738\text{ °C};$
- az égés teljes befejeződésének hőmérséklete $T_{\text{égés, bef}} = 738\text{ °C}.$

11.5.1.3. Áprilisi MBH minta derivatogramja



25. ábra. Győri Áprilisi MBH minta derivatogramja. A minta tömegváltozásai és hőeffektusai a hőmérséklet függvényében

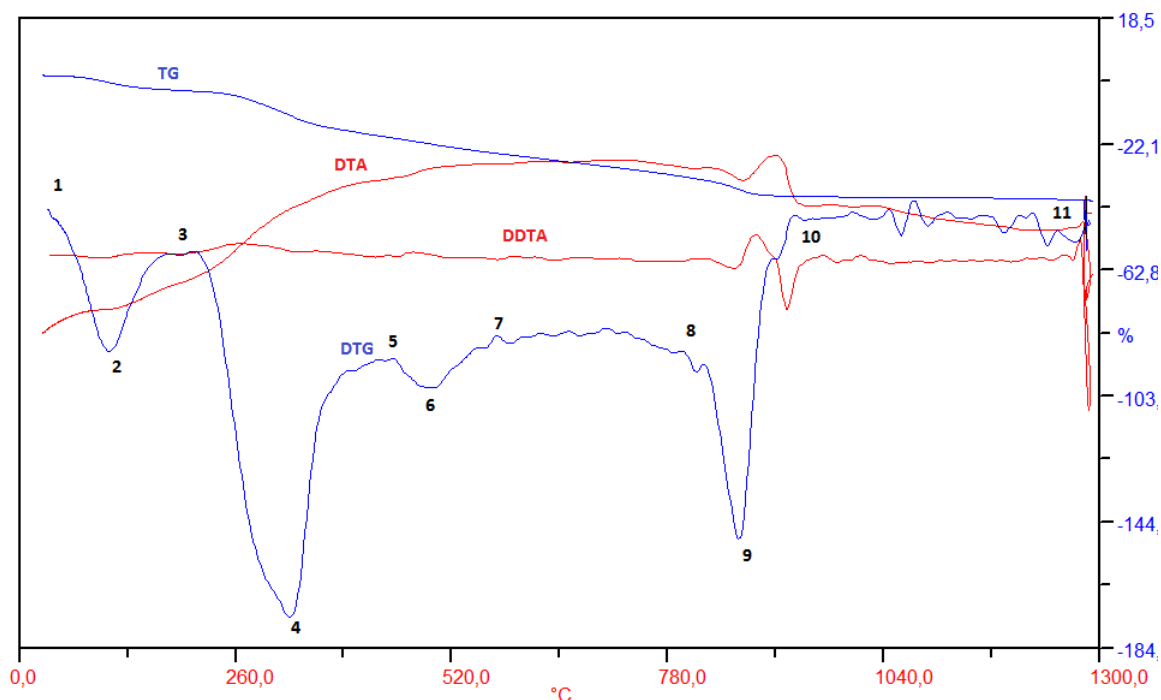
21. táblázat. Győri Áprilisi MBH minta derivatogramjához tartozó jellemző értékek

Pontok	Hőmérséklet T, °C	Tömegváltozás TG, %	Hőmérsékletkülönbség DTA, °C	Tömegváltozás sebessége DTG
1	32	-0,2	-0,2	-0,1
2	107	-9,24	-4,8	-0,6
3	195	-15,7	-0,3	6,7
4	286	-22,6	-4,8	14,9
5	370	-31,8	-1,8	17,8
6	812	-53,2	-0,9	10,2
7	840	-54,8	-2,2	4,9
8	873	-55,6	-0,0	3,1
9	1258	-56,8	-0,3	-5,8

Az **áprilisi MBH** minta derivatogramjából megállapítható legfontosabb jellemzők:

- a legintenzívebb nedvesség eltávozás hőmérséklete $T_{w, \max} = 108 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- a száradás befejeződésének hőmérséklete $T_{w, 0} = 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- az illók kiválásának kezdőhőmérséklete $T_{\text{ill, kezd}} = 205 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- az illók begyulladásának kezdőhőmérséklete $T_{\text{ill, gyull}} = 220 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- az illók leggyorsabb kiválásának hőmérséklete $T_{\text{ill, max}} = 290 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- az illók kiválásának véghőmérséklete $T_{\text{ill, vég}} = 370 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- az intenzív égés hőmérséklet tartománya $T_{\text{int, ég}} = 220\text{-}815 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- az égés teljes befejeződésének hőmérséklete $T_{\text{égés, bef}} = 815 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

11.5.1.4. Júniusi MBH minta derivatogramja



26. ábra. Győri Júniusi MBH minta derivatogramja

17. táblázat. Győri Júniusi MBH minta derivatogramjához tartozó jellemző értékek

Pontok	Hőmérséklet T, °C	Tömegváltozás TG, %	Hőmérsékletkülönbség DTA, °C	Tömegváltozás sebessége DTG
1	35	0,0	0	0,6
2	108	-2,3	-1,2	3,0
3	180	-4,7	-0,4	6,0
4	325	-13,0	-3,6	15,8
5	440	-19,8	-1,3	19,6
6	495	-22,1	-1,6	20,9
7	577	-25,2	-1,1	21,5
8	803	-32,8	-1,3	21,0
9	867	-36,9	-2,9	19,5
10	930	-39,0	-0,1	17,6
11	1260	-40,0	-0,3	13,3

A **júniusi MBH** minta derivatogramjából megállapítható legfontosabb jellemzők:

- a legintenzívebb nedvesség-eltávozás hőmérséklete $T_{w, \max} = 108 \text{ °C}$;
- a száradás befejeződésének hőmérséklete $T_{w, 0} = 180 \text{ °C}$;
- az illók kiválásának kezdőhőmérséklete $T_{ill, kezd} = 215 \text{ °C}$;
- az illók begyulladásának kezdőhőmérséklete $T_{ill, gyull} = 230 \text{ °C}$;
- az illók leggyorsabb kiválásának hőmérséklete $T_{ill, \max} = 325 \text{ °C}$;
- az illók kiválásának véghőmérséklete $T_{ill, vég} = 440 \text{ °C}$;
- az intenzív égés hőmérséklettartománya $T_{int, ég} = 230-940 \text{ °C}$;
- az égés teljes befejeződésének hőmérséklete $T_{égés, bef} = 940 \text{ °C}$.

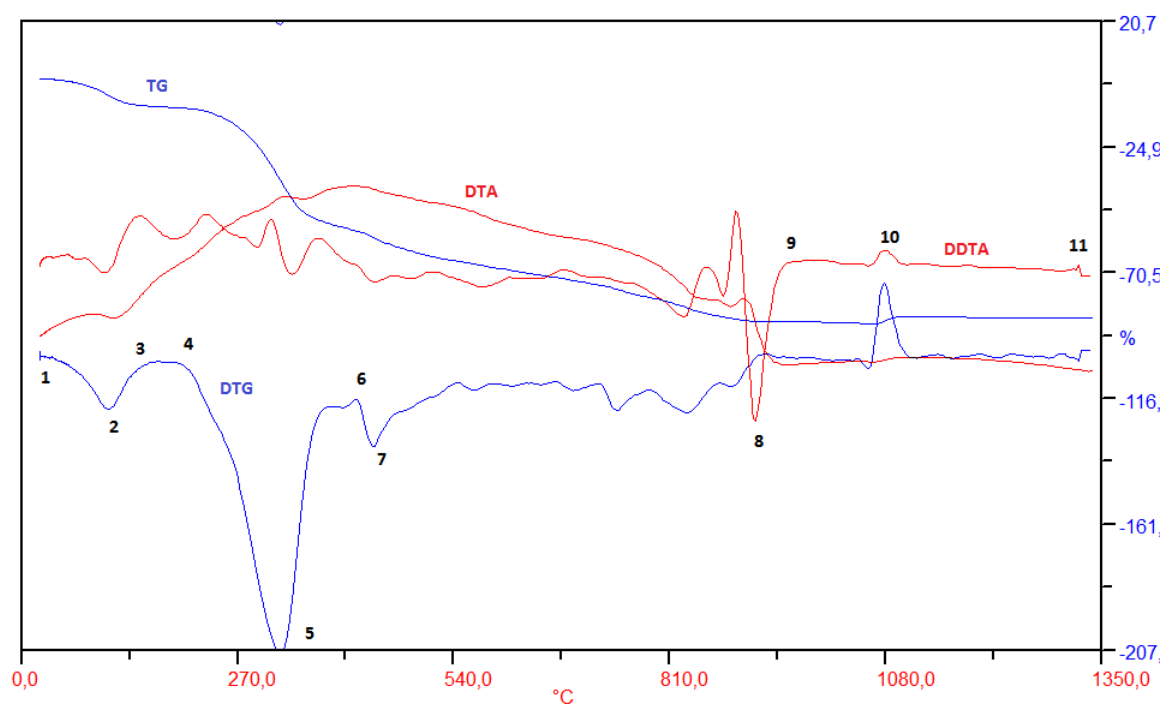
18. táblázat. A termoanalitikai mérés eredményeiből számított tüzelőanyag-összetétel

Tüzelőanyag	Összetétel [% m/m]			
	Nedvesség	Illó	Fixkarbon	Hamu
Komposzt	6,78	15,43	12,85	57,78
Lakossági bio	17,47	11,11	12,22	56,59
MBH Április	15,58	15,95	21,75	44,33
MBH Június	4,71	14,75	14,4	59,62

11.5.2. Kistelepülési minták derivatogramjai

A **csernelyi minták** begyűjtését követően azokon derivatográfias mérések elvégzésére is sor került. A dolgozat elkészültéig három frakció vizsgálata történt meg: papír, textil és műanyag. Az elkészült derivatogramok a **27. ábra** **29. ábra** láthatók.

11.5.2.1. Papír minta derivatogramja



27. ábra. Csernelyi papír minta derivatogramja

19. táblázat. A csernelyi papír minta derivatogramjához tartozó jellemző értékek

Pontok	Hőmérséklet T, °C	Tömegváltozás TG, %	Hőmérsékletkülönbség DTA, °C	Tömegváltozás sebessége DTG
1	24	-0,08	-0,023	-0,042
2	110	-6,79	1,724	-2,516
3	164	-10,17	5,12	-0,335
4	191	-10,6	6,618	-0,339
5	321	-36,75	13,244	-14,06
6	380	-54,32	13,823	-2,487
7	425	-56,08	14,208	-2,36
8	915	-88,05	2,045	-0,12
9	960	-88,16	-2,744	-0,11
10	1080	-87,88	-2,322	-5,042
11	1336	-86,86	-3,448	-0,167

A **papír** minta derivatogramjából megállapítható legfontosabb jellemzők:

- a legintenzívebb nedvesség-eltávozás hőmérséklete
- a száradás befejeződésének hőmérséklete
- az illók kiválásának kezdőhőmérséklete
- az illók begyulladásának kezdőhőmérséklete
- az illók leggyorsabb kiválásának hőmérséklete
- az illók kiválásának véghőmérséklete

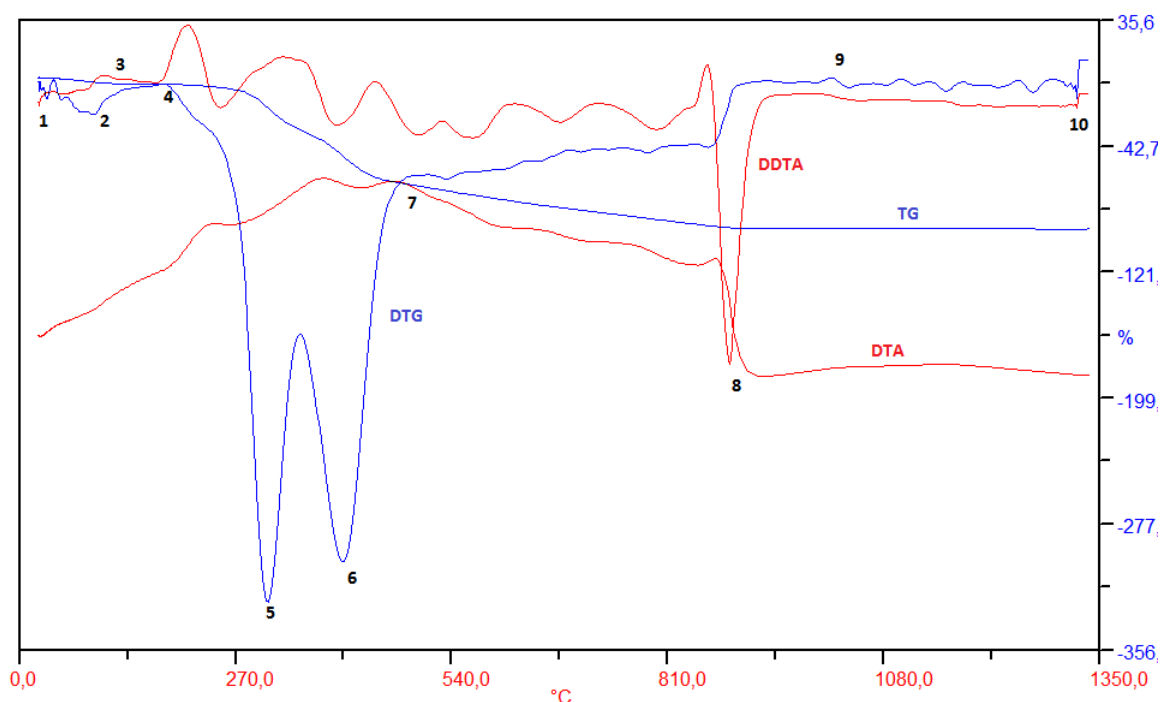
$$\begin{aligned}
 T_{w, \max} &= 110 \text{ °C;} \\
 T_{w, 0} &= 164 \text{ °C;} \\
 T_{ill, \text{ kezd}} &= 191 \text{ °C;} \\
 T_{ill, \text{ gyull}} &= 220 \text{ °C;} \\
 T_{ill, \max} &= 321 \text{ °C;} \\
 T_{ill, \text{ vég}} &= 380 \text{ °C;}
 \end{aligned}$$

- az intenzív égés hőmérséklettartománya
- az égés teljes befejeződésének hőmérséklete

$$T_{\text{int,ég}} = 220-915\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{égés,bef}} = 960\text{ }^{\circ}\text{C};$$

11.5.2.2. Textil minta derivatogramja



28. ábra. Cserneli textil minta derivatogramja

20. táblázat. A cserneli textil minta derivatogramjához tartozó jellemző értékek

Pontok	Hőmérséklet T , $^{\circ}\text{C}$	Tömegváltozás TG , %	Hőmérsékletkülönbség DTA , $^{\circ}\text{C}$	Tömegváltozás sebessége DTG
1	27	-0,07	-0,112	-0,214
2	96	-3,1	3,607	-0,505
3	131	-3,99	4,43	-0,095
4	182	-4,3	6,307	-0,012
5	310	-19,27	11,864	-8,171
6	405	-49,59	14,321	-7,123
7	473	-65,77	14,551	-1,462
8	886	-93,48	4,651	-0,302
9	942	-93,66	-3,855	0,081
10	1337	-94,27	-3,906	0,001

A **textil** minta derivatogramjából megállapítható legfontosabb jellemzők:

- a legintenzívebb nedvesség-eltávozás hőmérséklete
- a száradás befejeződésének hőmérséklete
- az illók kiválásának kezdőhőmérséklete
- az illók begyulladásának kezdőhőmérséklete
- az illók leggyorsabb kiválásának hőmérséklete

$$T_{w, \max} = 96\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$T_{w, 0} = 131\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{ill, kezd}} = 182\text{ }^{\circ}\text{C};$$

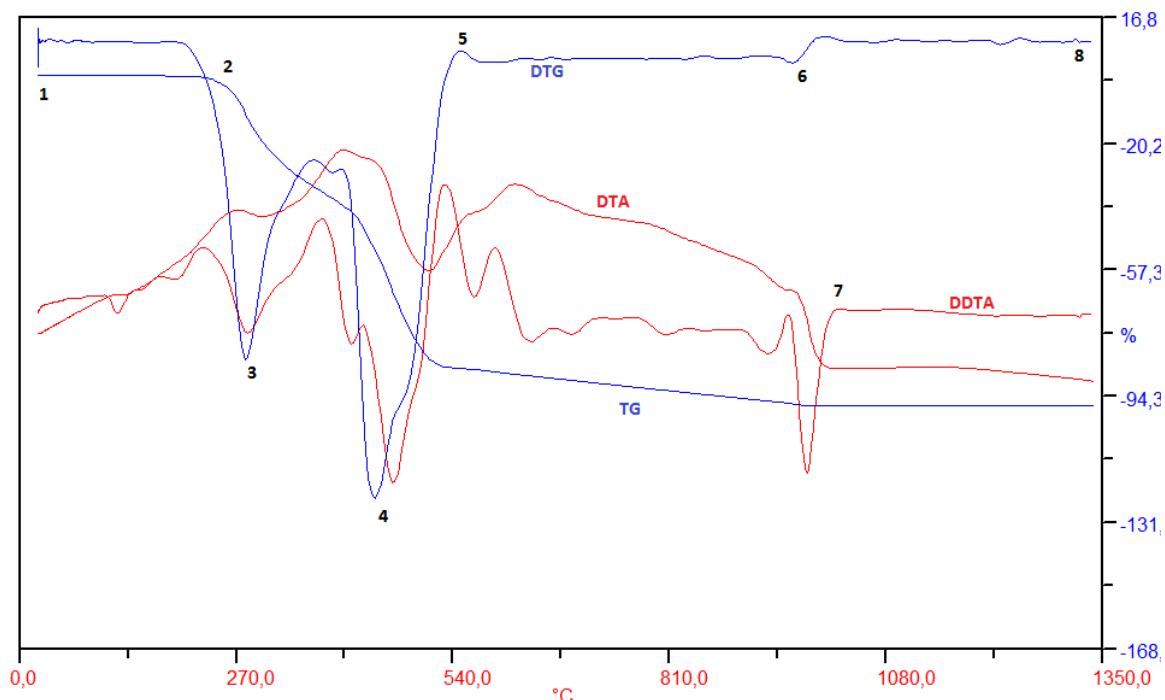
$$T_{\text{ill, gyull}} = 225\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{ill, max}} = 310\text{ }^{\circ}\text{C};$$

- az illók kiválásának véghőmérséklete
- az intenzív égés hőmérséklet tartománya
- az égés teljes befejeződésének hőmérséklete

$T_{\text{ill,vég}} = 473\text{ °C};$
 $T_{\text{int,ég}} = 225\text{--}886\text{ °C};$
 $T_{\text{égés,bef}} = 942\text{ °C};$

11.5.2.3. Műanyag minta derivatogramja



29. ábra. Cserneli műanyag minta derivatogramja

21. táblázat. A cserneli műanyag minta derivatogramjához tartozó jellemző értékek

Pontok	Hőmérséklet T, °C	Tömegváltozás TG, %	Hőmérsékletkülönbség DTA, °C	Tömegváltozás sebessége DTG
1	26	-0,19	-0,01	0,001
2	199	-0,39	6,898	-0,102
3	282	-12,74	11,482	-16,191
4	442	-51,33	16,317	-24,461
5	546	-86,17	10,545	-0,519
6	964	-96,63	3,789	-1,03
7	1009	-97,1	-3,306	0,168
8	1334	-97,16	-4,565	0

A műanyag minta derivatogramjából megállapítható legfontosabb jellemzők:

- a legintenzívebb nedvesség-eltávozás hőmérséklete
- a száradás befejeződésének hőmérséklete
- az illók kiválásának kezdőhőmérséklete
- az illók begyulladásának kezdőhőmérséklete
- az illók leggyorsabb kiválásának hőmérséklete
- az illók kiválásának véghőmérséklete

$T_{w, \text{max}} = -\text{°C};$
 $T_{w, 0} = -\text{°C};$
 $T_{\text{ill, kezd}} = 199\text{ °C};$
 $T_{\text{ill, gyull}} = 210\text{ °C};$
 $T_{\text{ill, max}} = 442\text{ °C};$
 $T_{\text{ill, vég}} = 546\text{ °C};$

- az intenzív égés hőmérséklettartománya
- az égés teljes befejeződésének hőmérséklete

$$T_{\text{int,ég}} = 210-964\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{égés,bef}} = 1009\text{ }^{\circ}\text{C};$$

A termoanalitikai mérés eredményei alapján a három mintára vonatkozó jellemző tüzelőanyag-összetételt a **27. táblázat** tartalmazza.

22. táblázat. A termoanalitikai mérés eredményeiből számított tüzelőanyag-összetétel

Tüzelőanyag	Összetétel [% m/m]			
	Nedvesség	Illó	Fixkarbon	Hamu
Papír	10,17	44,15	32,54	13,14
Textil	4,30	61,47	28,50	5,73
Műanyag	0,00	86,17	10,99	2,84

A derivatogramokról leolvasott értékek alapján mindhárom tüzelőanyag olyan éghető (illó és fixkarbon) részekkel rendelkezik, melyek alkalmassá teszik azok termikus hasznosítását.

12. Összefoglalás

A dolgozat első részében – szakirodalmi forrásokra támaszkodva –tekintetem át az európai és hazai helyzetet a hulladékkezelés témakörében. Ezen a szakterületen már régóta dolgoznak szakemberek, akik folyamatosan fejlesztik a hasznosítási technológiákat, annak érdekében, hogy minimalizálják a lerakásra kerülő hulladékok mennyiségét. E tapasztalatok felhasználásával mutattam be a napjainkban egyre jobban előtérbe kerülő MBH technológiát, valamint a hulladékégetés bevált módszereit.

Mivel a célom a települési szilárd hulladékok hasznosításának vizsgálata, ezért egy nagyvárosi és egy kistelepülési esetet ragadtam ki. Győrben nagyobb tömegű hulladékot kezelnek, míg Csernelyben – az előzetes vizsgálatokat figyelembe véve – kisebb mennyiség keletkezik. A közös mindkét esetben az, hogy a begyűjtött szilárd hulladékok nagyobb arányban tartalmaznak olyan frakciókat, amelyeket nem célszerű deponálni. Így a legjobb megoldásnak az égetés bizonyulhat, ezekből hasznos hőenergiát nyerhetünk – mely alkalmas közintézmények használati melegvizének, vagy fűtési hőigényének fedezésére.

Az elvégzett laboratóriumi vizsgálatok csak bizonyos hulladékkomponensekre terjedtek ki (gondoljunk a győri komposzt, lakossági bio, vagy MBH mintára, illetve a csernelyi papír, textil, műanyag frakciókra). Ennek okán a feladat még nem fejeződött be, további minták begyűjtésére és azok elemzésére van szükség.

Előzetesen megállapítható, hogy a Győrből kapott minták – melyeket termikus hasznosításra szántak – a nagy nedvességtartalom miatt nem rendelkeznek olyan tüzeléstechnikai paraméterekkel, melyek alapján kijelenthető lenne, hogy biztonsággal, és gazdaságosan égethetők önállóan. Egy nagyobb fűtőértékű frakcióval való együttégetés azonban szóba jöhet.

A Csernelyben begyűjtött minták mérési adatai alapján kijelenthető, hogy érdemes lenne a jövőben – esetleg a szomszédos településekkel összefogva – begyűjteni a keletkező hulladékaikat. Kezelés után egy, arra alkalmas égető berendezéssel hőenergiát előállítani ezzel új munkahelyeket is teremtve. A győri minták mérési eredményeit figyelve a kistelepülés ese-

tében nem érdemes a gyenge tulajdonságokkal rendelkező hulladékok égetését előtérbe helyezni, illetve csak akkor, ha más egyéb, kiváló fűtőértékkel, és egyéb jó tulajdonságokkal rendelkező tüzelőanyag mellé adagolják be. Járható út az is, hogy a térségben keletkező mezőgazdasági hulladékokkal együtt próbálják hasznosítani ezeket az anyagokat. Erről viszont egyelőre nem történt felmérés.

Elmondható, hogy a településeken termelődő szilárd hulladék lerakás előtt mindenképp válogatáson kell, hogy áteszen, köszönhetően ez a szigorodó jogszabályoknak, valamint a szakemberek felismerésének. Az anyagában újra nem hasznosítható frakciókat érdemes égetéssel ártalmatlantani. Kijelenthető, hogy a hulladékégetési technológia szélesebb körű bevezetése időszerű kérdés, fókuszálva a kistérségekre, hogy azok saját maguknak állítsanak elő hőenergiát a telepített égető berendezések segítségével.

Mivel egy korszerű, a legjobb eljárásokat alkalmazó technológia telepítése nagyon költséges, ezért egy ilyen kistépülésen a megvalósítás sok időbe telhet. A dolgotom épp ezért csak a lehetőségét vizsgálja egy ilyen megoldásnak. Amennyiben további adatok állnak majd rendelkezésre, elsődleges becslésekkel méretezhető a leendő létesítmény.

Ezért a közeljövőben a következő feladatok megoldására kell törekedni:

- a) folyamatos mintabegyűjtés annak megállapítására, hogy mely évszakban milyen hulladékok keletkeznek leginkább;
- b) a térségben a mezőgazdasági, vagy erdészeti tevékenységek melléktermékeinek felmérése;
- c) a kellő mennyiségű begyűjtött minták laboratóriumi vizsgálatai;
- d) a mérések alapján égésméleti és tüzeléstani számítások végzése;
- e) mindeközben a település közintézményei energiafelhasználásának elemzése;
- f) az égethető hulladékok tömegének és tüzeléstechnikai jellemzőinek mérlegelése alapján döntést elősegítő tanulmány összeállítása az optimális méretű és hőteljesítményű kazán kiválasztásához;
- g) a hulladékok égetésére alkalmas kazán előzetes tervezése.

Az eddigi szerzett ismereteink alapján, a települési hulladékok környezetkímélő, energetikai hasznosításának céljából tervezünk további kutatásokat végezni.

Köszönetnyilvánítás

"A Tudományos Diákköri Dolgozat a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg".

13. Irodalom

- [1] Hulladékgazdálkodás az EU-ban és Magyarországon -
<http://profitalhatsz.mkik.hu/vallalkozok/Hulladeggazdalkodas.pdf>
- [2] Hulladékgazdálkodási törvény -
http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0000043.TV
- [3] Bulla Miklós (szerkesztő) – Környezetvédelem, Veszprém 2006
- [4] Útmutató az elérhető legjobb technika meghatározásához a hulladékégetők engedélyezése során – Budapest, 2008.
- [5] http://www.fkf.hu/portal/page/portal/fkf/HUHA/hulladakbol_energiat
- [6] http://www.piacesprofit.hu/klimablog/fenntarthato_fejlodes/430_kilo_hulladekot_termel_evente_az_atlag_magyar.html
- [7] <http://www.huskenv.org/magyar/hulladek1.php>
- [8] Szilárd települési hulladék összetételének vizsgálata – Műszaki Szakértői tanulmány. Mc 2006.
- [9] Az italos karton -
<http://vallalkozas.hulladekboltermek.hu/hulladek/hulladekfajtak/italoskarton/>
- [10] MBH kézikönyv, Gödöllő 2006.
- [11] Szabó Annamária – Hulladékégetés
- [12] Hulladékégetés -
http://ec.europa.eu/environment/youth/waste/waste_incineration_hu.html
- [13] dr. Örvös Mária - Termikus hulladékkezelés, BME
- [14] Hulladékégetők Magyarországon -
<http://www.humusz.hu/piro/egetok/magyarorszag>
- [15] Olessák Dénes-szabó László – Energia hulladékból Bp. 1984
- [16] Duna-Vértes Köze Regionális Hulladékgazdálkodási Program Megvalósíthatósági tanulmány, 10. sz. melléklete
- [17] Hulladékgazdálkodás - www.winenot.hu/munkavedelem/HULLADEKGAZD.pptx
- [18] Várkonyi Éva – Termikus eljárások a hulladékhasznosításban – Konferencia, Gyula, 2010.
- [19] Forgódobos kemence felépítése –
<http://www.tankonyvtar.hu/konyvek/kornyezettechnika/kornyezettechnika-5-10-1-081029-10>
- [20] Fluidised Bed Combustion - <http://www.ustudy.in/node/3147>
- [21] MSZ-24000-5. Szene laboratóriumi vizsgálata. Az égéshő meghatározása és a fűtőérték kiszámítása. 1981. június
- [22] MSZ-24000-23. Szene laboratóriumi vizsgálata. A nedvességtartalom meghatározása. 1978. június
- [23] MSZ-ISO-1171. Szilárd ásványi tüzelőanyagok; A hamu meghatározása. 1993. szeptember
- [24] Dr. Szemmelveisz Tamásné: Fás- és lágyszárú biomasszák tüzelhetőségi feltételeinek vizsgálata. PhD értekezés Miskolc, 2006.
- [25] Dr. Szűcs István, Dr. Nagy Géza: Hulladékból előállított másodlagos tüzelőanyagok tüzeléstechnikai jellemzői, a levegőtisztaság-védelemmel kapcsolatos szakmai megoldások. 2011.

14. Mellékletek

14.1. I. számú melléklet

A Győrben 2011. április – szeptember között végzett begyűjtés során a telephelyre érkezett hulladékmintát különböző frakciókra válogatták szét. Az egyes frakciók tömegét mutatja az I. sz. melléklet **1. táblázata**.

1. táblázat – Győrben begyűjtött hulladék frakciónkénti tömege

Minták jele	Begyűjtött mennyiség (kg)	Megnevezés							Éghetők tömege (kg)	Éghetők részaránya [% m/m]
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.		
		Papír (kg)	Karton (kg)	Textil (kg)	Műanyag (kg)	Bio kerti (kg)	Eü. (kg)	Nem azon. (kg)		
LV-I/04.18.	340	102	11	10	114	0	0	0	237	69,7
LV-II/05.30.	820	41	41	16,5	205	41	0	0	345	42,0
LV-III/09.05.	820	85	47	80	241	0	20	0	584	71,2
IV-I/04.18.	460	116	35	5	133	48	32	0	376	81,7
IV-II/05.30.	520	101	82	25	171	29	20	0	428	82,3
IV-III/09.05.	260	51	10	18	91	6	20	0	196	75,3
LM-I/04.21.	340	19	19	15	148	12	41	0	254	74,7
LM-II/06.02.	1080	84	126	157	180	0	0	0	560	51,8
LM-III/09.05.	1000	50	50	100	245	150	0	0	595	59,5
LB-I/04.22.	720	2	0	0	31	547	119	10	712	98,8
LB-II/06.03.	1320	0	0	0	0	1248	41	0	1289	97,6
LB-III/09.05	1000	50	50	100	245	150	0	0	595	59,5
MBH-I/04.21.	320	52	11	60	130	0	0	25	278	86,8
MBH-II/06.02.	507	10	15	158	304	0	0	0	490	96,6
MBH-III/09.09.	300	17	33	57	153	0	0	0	260	86,6

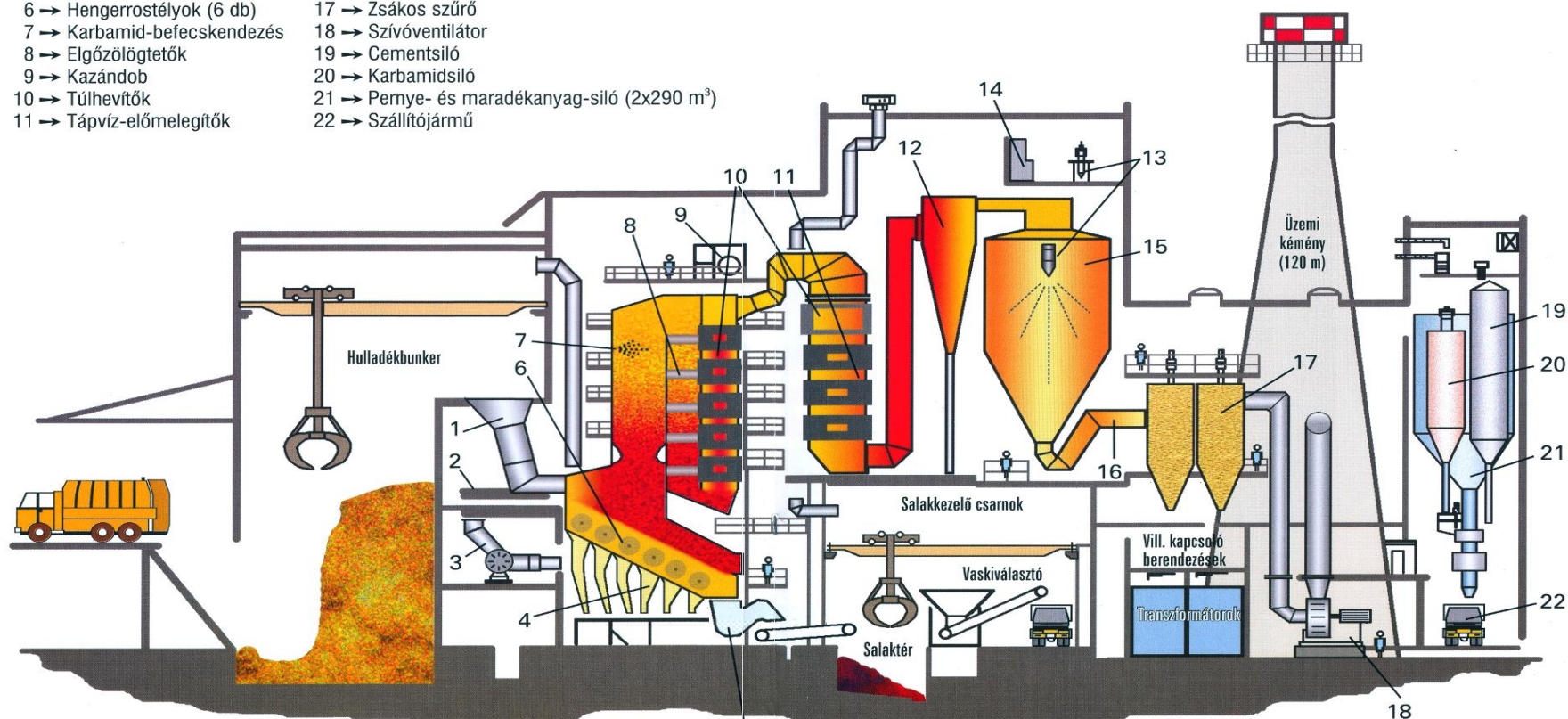
Jelmagyarázat: LV: Lakossági Vegyes Hulladék, IV: Intézményi Vegyes Hulladék, LM: Lakossági Maradék Hulladék, LB: Lakossági biológiai hulladék, MBH: Mechanikai-biológiai stabilizálásnak kitett Hulladék

14.2. II. számú melléklet

Fővárosi Hulladékhasznosító Mű Működési folyamatára



- | | |
|-----------------------------|---|
| 1 → Hulladékadagoló tölcser | 12 → Ciklonok |
| 2 → Hulladékadagoló asztal | 13 → Porlasztó berendezés (üzemi és tartalék) |
| 3 → Primerlevegő-ventilátor | 14 → Hidraulikus egység |
| 4 → Levegőelosztó kamrák | 15 → Abszorber |
| 5 → Salakkító berendezés | 16 → Aktivkohasz-befúvás |
| 6 → Hengerrostélyok (6 db) | 17 → Zsákos szűrő |
| 7 → Karbamid-befecskendezés | 18 → Szívóventilátor |
| 8 → Elgőzölögtetők | 19 → Cementsiló |
| 9 → Kazándob | 20 → Karbamidsiló |
| 10 → Túlhevítők | 21 → Pernye- és maradékanyag-siló (2x290 m ³) |
| 11 → Tápvíz-előmelegítők | 22 → Szállítójármű |



1. ábra. A Fővárosi Hulladékhasznosító Mű működési folyamatábrája [25]