

Pannon Egyetem Mérnöki Kar
Vegyésmérnöki és Anyagtudományok Doktori Iskola

**Innovatív technológiai fejlesztések a lakossági szilárd hulladék lerakótól
történő eltérítésének, valamint a hulladékhasznosítási arányok növelésének
érdekében – a körforgásos gazdaság támogatása**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

DOI:10.18136/PE.2025.934

Készítette: Sarkady Attila

Társtémavezető: Dr. Kurdi Róbert

Társtémavezető: Dr. Egedy Attila

Veszprém

2025

Az értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében készült a Pannon Egyetem
Vegyésszmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskolájának keretében
bio-, környezet- és vegyésszmérnöki tudományok tudományágban

Írta: Sarkady Attila

Témavezetők: Dr. Kurdi Róbert

Dr. Egedy Attila

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....

Dr. Kurdi Róbert

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....

Dr. Egedy Attila

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom

Bíráló neve.....igen / nem

.....

(bíráló)

Bíráló neve.....igen / nem

.....

(bíráló)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján%-ot ért el.

Veszprém,

.....

(a Bíráló bizottság elnöke)

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....

(az EDHT elnöke)

Összefoglaló

Az ipari forradalom és a népességnövekedés következtében kialakult környezeti terhelések, valamint az erőforrások mértéktelen felhasználása és a hulladékképződés a lineáris gazdasági modell fenntarthatatlanságára világított rá. Ez a modell a termékek rövid életciklusára és hulladékká válására épült, jelentős környezeti problémákat okozva. A körforgásos gazdaság, mint alternatíva ezzel szemben a termékek életciklusának meghosszabbítására, az anyagok és erőforrások gazdasági körforgásban tartására, valamint a hulladék minimalizálására törekszik.

Kutatásom során hozzá kívántam járulni a hulladéklerakás csökkentéséhez különböző technológiák és rendszerek fejlesztésével. Céлом volt egy mechanikai és biológiai hulladékkezelő technológia megtervezése a régióban keletkező lakossági vegyes hulladék kezelésére, amely képes a hazai hasznosítói háttérrel rendelkező, hulladékból előállított tüzelőanyagok (RDF/SRF) gyártására és a változó igényekhez történő rugalmas alkalmazkodásra. További célkitűzésem volt az ilyen és ehhez hasonló létesítményekből származó biológiailag bomló frakciókra fókuszáló komplex technológia kidolgozása, amely bizonyítottan alkalmas üzemi környezetben is jelentősen javítani a települési szilárd hulladék hasznosítási arányait.

A kutatás során elemeztem a csomagolási hulladék kezelésére alkalmas hazai betétdíjas (DRS) rendszer bevezetésének várható fogadtatását és hatásait annak érdekében, hogy a megfelelően megválasztott visszaváltási pontok, célcsoportok és betétdíj mértéke tiszta és nagy mennyiségű újrahasznosítható anyagot tudjon biztosítani az ipar számára, ami szintén csökkenteni képes a vegyeshulladék lerakásának mértékét. A jövő kihívásaira pedig moduláris szimulátort fejlesztettem ki, amely modellezés segítségével lehetővé teszi a meglévő és tervezett hulladékkezelési technológiák mennyiségi és minőségi vizsgálatát változó bemeneti hulladékáramokra és a hasznosítóipar által elvárt kimenetekre.

Tudományos munkám elemzi a hulladékgazdálkodás fejlődési irányait, azonosítja a fejlesztési potenciálokat, és konkrét megoldásokat kínál a hazai hulladékkezelési célok elérésére. Hozzájárul a körforgásos gazdaság megvalósításához, a hulladéklerakás arányának jelentős csökkentéséhez, valamint a „Zero Waste” globális koncepció eléréséhez.

Abstract

The environmental pressures of the industrial revolution and population growth, as well as resource overuse and waste, have highlighted the unsustainability of the linear economic model. This model was based on short product life cycles and waste, causing major environmental problems. In contrast, the circular economy as an alternative seeks to extend the life cycle of products, to keep materials and resources in economic circulation and to minimise waste.

In my research, I wanted to contribute to waste reduction by developing different technologies and systems. My aim was to design a mechanical and biological waste treatment technology for the treatment of mixed municipal waste generated in the region, capable of producing waste-to-energy fuels (RDF/SRF) from a domestic recovery background and with the flexibility to adapt to changing needs. A further objective was to develop a complex technology focusing on biodegradable fractions from these and similar facilities, which has been shown to have the potential to significantly improve municipal solid waste recovery rates in an operational setting.

During the research, I analysed the expected uptake and impact of the introduction of a domestic deposit return system (DRS) for packaging waste management, so that the right choice of return points, target groups and deposit rates can provide the industry with clean and large quantities of recyclable material, which can also reduce the amount of chemical waste going to landfill. And for future challenges, I have developed a modular simulator that uses modelling to allow quantitative and qualitative testing of existing and planned waste treatment technologies for varying input waste streams and the outputs expected by the recovery industry.

My scientific work analyzes the development directions of waste management, identifies development potentials, and offers concrete solutions to achieve domestic waste management goals. It contributes to the implementation of a circular economy, a significant reduction in the landfill rate, and the achievement of the global concept of "Zero Waste".

Auszug

Die Umweltbelastungen durch die industrielle Revolution und das Bevölkerungswachstum sowie die Überbeanspruchung und Verschwendung von Ressourcen haben deutlich gemacht, dass das lineare Wirtschaftsmodell nicht nachhaltig ist. Dieses Modell basierte auf kurzen Produktlebenszyklen und Abfällen, was große Umweltprobleme verursachte. Im Gegensatz dazu zielt die Kreislaufwirtschaft als Alternative darauf ab, den Lebenszyklus von Produkten zu verlängern, Materialien und Ressourcen im Wirtschaftskreislauf zu halten und Abfälle zu minimieren.

In meiner Forschung wollte ich durch die Entwicklung verschiedener Technologien und Systeme zur Abfallverringerung beitragen. Mein Ziel war es, eine mechanische und biologische Abfallbehandlungstechnologie für die Behandlung gemischter Siedlungsabfälle aus den Region zu konzipieren, die in der Lage ist, aus Hausmüll energetisch verwertbare Brennstoffe (RDF/SRF) zu erzeugen und die sich flexibel an veränderte Bedürfnisse anpassen lässt. Ein weiteres Ziel war die Entwicklung einer komplexen Technologie mit Schwerpunkt auf biologisch abbaubaren Fraktionen aus diesen und ähnlichen Anlagen, die nachweislich das Potenzial hat, die Verwertungsquoten für feste Siedlungsabfälle in einer betrieblichen Umgebung erheblich zu verbessern.

Im Rahmen der Forschung habe ich die erwartete Akzeptanz und die Auswirkungen der Einführung eines häuslichen Pfandsystems (DRS) für die Verpackungsabfallbewirtschaftung analysiert, so dass die richtige Wahl der Rückgabestellen, Zielgruppen und Pfandsätze der Industrie sauberer sowie große Mengen an wiederverwertbarem Material liefern kann, wodurch auch die Menge an chemischen Abfällen, die auf Deponien landen, verringert werden kann. Im Hinblick auf künftige Herausforderungen habe ich einen modularen Simulator entwickelt, der mit Hilfe von Modellen eine quantitative und qualitative Prüfung bestehender und geplanter Abfallbehandlungstechnologien für unterschiedliche Input-Abfallströme und die von der Verwertungsindustrie erwarteten Qualitäten ermöglicht.

Meine wissenschaftliche Arbeit analysiert die Entwicklungsrichtungen der Abfallwirtschaft, identifiziert Entwicklungspotenziale und bietet konkrete Lösungsansätze zur Erreichung der abfallwirtschaftlichen Ziele in Deutschland. Es trägt bei zur Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft, einer deutlichen Reduzierung der Deponiemengen und zur Verwirklichung des globalen Konzepts von „Zero Waste“ bei.

Tartalomjegyzék

Rövidítések.....	11
1. Bevezetés.....	12
1.1. A hulladékgazdálkodás tárgyköre, annak történelmi alakulása	12
1.2. Hulladékgazdálkodás fejlődése	13
2. Irodalmi áttekintés.....	16
2.1. hulladékgazdálkodás céljai.....	16
2.1.1. Az hulladékgazdálkodás részletes szabályozása	19
2.1.2. Körforgásos gazdaság.....	21
2.1.3. EPR, DRS, Koncesszió	22
2.2. Lakossági hulladékok kezelése – lerakás minimalizálása (MBH)	25
2.2.1. Mechanikai biológiai hulladékkezelés	25
2.2.2. MBH-k Magyarországon és Európában	27
2.3. Számítógéppel segített tervezési lehetőségek a hulladékgazdálkodásban	30
2.3.1. A haszonanyag leválogatás fejlesztésének szükségessége.....	31
2.3.2. Technológiák vizsgálata szimulációval.....	32
3. Anyagok és módszerek.....	35
3.1. RDF/ SRF előállító rendszerek tervezésének elvei	35
3.1.1. Az RDF/SRF hasznosító ipar és igényei	35
3.1.2. Hazai átvevői kapacitások felmérése	40
3.1.3. Rendelkezésre álló technológiai berendezések, technológiai lépések felmérése ...	41
3.2. TSZH „B” frakcióból nyerhető SRF vizsgálatai módszerei.....	43
3.2.1. TSZH „B” frakció várható mennyiségének vizsgálata.....	43
3.2.2. Mintavétel és előkészítés SRF vizsgálatokhoz.....	45
3.2.3. SRF – helyettesítő tüzelőanyag minőségi vizsgálata, osztályba sorolása	48
3.3. Betétdíjas (DRS) rendszer bevezetési lehetőségének vizsgálata – alkalmazott vizsgálati módszer	54

3.3.1. Kutatási modell.....	55
3.3.2. Adatelemzési módszer.....	56
3.4. Hulladékkezelő technológia fejlesztése moduláris szimulátorral	58
3.4.1. A modell felépítésének lépései.....	59
3.4.2. A hulladékválogató technológia moduljainak meghatározása	60
3.4.3. Modulok általános modellje és a kapcsolatok modellje.....	63
3.4.4. Monte Carlo szimuláció	66
4. Eredmények.....	69
4.1. Mechanikai és Biológiai Hulladékkezelő létesítmény tervezése a hazai alternatív tüzelőanyagok igényeinek megfelelően	69
4.1.1. A tervezés előzményei, szükségessége	69
4.1.2. A tervezést befolyásoló tényezők, adottságok:	70
4.1.3. Az MBH technológia fejlesztésének eredménye.....	72
4.1.4. Az új technológia további járulékos eredményei:	74
4.2. Biológiailag aktív („B”) frakció hasznosítása, használati mintaoltalom megszerzése .	74
4.2.1. „B” frakció összetevőiben rejlő hulladékhasznosítási potenciálok	74
4.2.2 Tüzelőanyag előállítási technológia B frakcióból készített stabilátból	79
4.2.3. Tesztberendezéssel elvégzett kísérlet eredményei, technológia validálása.....	80
4.2.4. Egyéb vizsgálatok, kutatások a „B” frakció energetikai hasznosítási lehetőségeinek vizsgálatára.....	82
4.3. Betét-visszatérítési rendszer (DRS) bevezetését szolgáló előzetes kérdőíves vizsgálata és eredményei a hatékony rendszer bevezetésének érdekében	83
4.3.1. A DRS szükségszerűsége a magyar hulladékgazdálkodásban	83
4.3.2. A DRS rendszer működése.....	85
4.3.3. A DRS rendszer bevezetésével kapcsolatos kérdőíves vizsgálatának eredményei	85
4.4. Hulladékkezelő technológia fejlesztése moduláris szimulátorral	93
4.4.1. Hulladékkezelő rendszerek fejlesztéseinek szükségessége, hulladékáramok változása	93
4.4.2. Technológiai modell meghatározása	94
4.4.3. Szimulációs eredmények, szakrétői validáció	95
5. Összefoglaló	101
6. Tézisek.....	103

Irodalomjegyzék.....	106
Publikációk listája	117
Köszönetnyilvánítás	120
Melléletek.....	121

Rövidítések

BME	biológiai-mechanikai előkezelés
BMH	biológiai-mechanikai hulladékkezelés
CE	Circular Economy - Körforgásos Gazdaság
Critical	Raw Materials – CRM
EoW	hulladék vége státusz (End of Waste)
EPR	kiterjesztett gyártói felelősség (extended producer responsibility)
EWC	Európai Hulladékkatalógus (European Waste Catalogue)
Fe	mágnesezhető fémek (vasfémek)
HAK	Hulladék Azonosító Kód
HKI	hulladékokról szóló keretrendelet
HLI	hulladéklerakó irányelv
MBE	mechanikai-biológiai előkezelés
MBH	mechanikai-biológiai hulladékkezelés
MBS	mechanikai biológiai stabilizálás
ME	mechanikai előkezelés
MEKH	Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal
MFS	mechanikai fizikai stabilizáció
MOHU	MOHU MOL Hulladékgazdálkodási Zrt.
NCV	fűtőérték (Net Calorific Value)
NFe	nem mágnesezhető fémek (nem vasfémek)
OHT	Országos Hulladékgazdálkodási Terv (OHT)
RDF	hulladékból származtatott szilárd tüzelőanyag (Refuse-derived Fuel)
SRF	hulladékból származtatott szilárd tüzelőanyag (Solid Recovered Fuel)
SUP	egyszer használatos műanyag (Single Use Plastics)
TSZH	települési szilárdhulladék
NIR	közeli infravörös (Near Infrared)
RDF	hulladékból nyert tüzelőanyag (Refuse Derived Fuel)
SRF	hulladékból visszanyert tüzelőanyag (Solid Recovered Fuel)
TSZH	települési szilárd hulladékok
WDF	hulladékból származtatott tüzelőanyagok (Waste Derived Fuel)
WtE	hulladékból energia (Waste to Energy)

1. Bevezetés

1.1. A hulladékgazdálkodás tárgyköre, annak történelmi alakulása

Az emberiség fejlődése és a föld benépesülése jelentős hatást eredményezett az ökoszisztémában. Ezen változások a történelem előrehaladtával egyre nagyobb mértékűek és kiterjedésűek lettek. A közösségek tevékenységeik során a természettel kölcsönhatásban, illetve sokáig egyensúlyban éltek. Ez az egyensúly a népesedéssel, valamint az emberi szokások változásával megbomlott. A vándorló élet megszűnése, a helyhez kötött életforma által megjelenő mezőgazdasági forradalom, majd az ezt követő ipari forradalom új kihívásokat teremtett. Megjelent a termelés a kereskedelem és ezzel együtt a felhalmozás és a felesleg is. [Harari, Y. N., 2014]

Amíg az emberiség a környezetével egyensúlyban élte az életét – azt és annyit vett el a természettől, amire szükséges volt – nem terhelte természetellenesen lakhelyét. A környezeti tényezőkre a hatás minimális volt. Az emberiség népesedésével és a technológiai eszközök (szerszámok) fejlődésével azonban olyan folyamatok indultak el, melynek negatív hatásai érezhetővé váltak. A társadalmak, civilizációk, települések gócpontjaivá váltak ezen negatív hatásoknak, így eleinte főként közegészségügyi kihívások elé néztek [Bortoleto, A. P., 2014].

A vegyipar forradalma által olyan – a természetben nem megtalálható – anyagok előállítására nyílt lehetőség, melyek az ipari és fogyasztói igények kielégítésére születtek. Ezen anyagok kapcsán azonban nem állt kellő mennyiségű információ a rendelkezésre, hogy milyen, a környezet és élőlények állapotára lévő hatásokkal rendelkeznek. Az anyagok sokfélesége biztosította a műszaki alkalmasságukat és főként műanyagok esetében számos iparágban váltak elsődlegesen felhasznált anyagoknak (berendezések, alkatrészek, csomagolóanyagok stb.), azonban később komoly komplex környezeti problémává váltak [Tickner, J., 2021].

A termékek életciklusuk végén „feleslegessé” válnak, mivel vagy nem képesek már eredeti funkciójukat betölteni, vagy a fogyasztói társadalom elvárásainak nem megfelelően elavulnak. Ezen folyamatok eredményeként a mintegy 8,2 Mrd főre robbanásszerű megnőtt populáció

hatalmas terhet jelent a környezetre a tevékenységéhez kapcsolódó termelési és fogyasztási tevékenységeivel, továbbá az ebből származó hulladékokkal. A globális hulladéktermelés 1965-ös 635 Mt-ról 1999 Mt-ra nőtt 2015-re, és 2050-re elérheti a 3539 Mt-t [Chen, D. M. C., 2020].

1.2.Hulladékgazdálkodás fejlődése

A hulladékgazdálkodás tárgya „bármely anyag vagy tárgy, amelytől birtokosa megválnik, megválni szándékozik vagy megválni köteles” [2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról].

A gazdaság automatizmusa és cserekereskedelem valamennyire természetesen módon biztosították az anyagok körforgását, azonban A mezőgazdaságból induló átalakulások, az ipari forradalom a túltermelés és csereeszközök (nemesfém, pénz) megjelenése, valamint a fogyasztói gazdasági modell és az ebből eredő túlfogyasztás nagymértékű hulladéktermeléshez vezetett. [Joshua, J. 2017]

Természetesen – főként nehéz (pl. háborús) gazdasági helyzetekben – a hulladékká váló tárgyak egy jó részének ismételt felhasználása, hasznosítása gyakorlattá vált. Ez főként a fémeket, textileket és építőanyagokat érintette [Cooper, T. 2008]

A közegészség állapotának és járványok visszaszorításának érdekében Európában – így Magyarországon is – megjelentek azok a törekvések és szolgáltatások, hogy a folyékony és szilárd hulladék összegyűjtése és elszállítása megvalósuljon [Rylander, H., 2024].

A korábban főként helyi problémák fókusza áthelyeződött a globális szintre. Számos hulladékokhoz köthető probléma nem kezelhető lokálisan, vagy nemzetállami szinten, ezért a határokon átnyúló vagy az egész földet érintő (pl. üvegházhatású gázok, mikroműanyagok) szennyezések nemzetközi beavatkozásokat sürgettek. Ezen helyzet felismerésének köszönhető a szervezett beavatkozási tevékenységek kezdete. Ennek megfelelően a 70-es években három megállapodás született a tengeri szennyezések kapcsán, a 80-as években a Föld légköri ózonrétegének védelmében. A 90-es évek óta nemzetközi törekvések fogalmazódtak meg a hulladékcsökkentés érdekében a Kiotói Jegyzőkönyv [Protocol Kyoto, 1997] és a Párizsi

Megállapodás keretében [Paris agreement, 2015] [United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2024]

Maga a környezet- és hulladékgazdálkodás külön iparaggá vált. A szabályozási keretek erősödésével előbb-utóbb az externális (környezetvédelemmel kapcsolatos) költségek beépültek a termékek és szolgáltatások árába, díjába, ami segítette az iparág fejlődését. Az így megjelenő források biztosították a kutatás-fejlesztésre fordítható eszközöket, így új technológiák és hasznosítási lehetőségek váltak elérhetővé. [Kiss, T., 2007].

A szabályozási keretekkel párhuzamosan a hulladékgazdálkodás az elmúlt évtizedekben igen komplex feladattá vált, ami magában foglalta a hulladék keletkezésétől kezdődő összes folyamatot, ideértve a hulladékok begyűjtésének módjait, azok optimalizálását. A hulladék áramok hasznosítási lehetőségeinek vizsgálatát, a szükséges kezelés mértékének meghatározását [Leitol, Cs., 2012; Kiss, T., 2003]

Ahhoz, hogy megfelelő szabályozó eszközöket lehessen kialakítani, továbbá ezek a szabályozók megfelelő irányú gazdasági változásokat és technológiai fejlődést tudjanak gerjeszteni világos célkitűzésre volt szükség. Mára a körforgásos gazdaság célkitűzéseivel kapcsolható leginkább a hulladékgazdálkodás elve és szabályrendszere, mely nem csak a hulladékká vált anyagok kezelését, hanem a szemléletformálást a tervezést és gyártást, hulladékszállítási újra-használati vagy -hasznosítási feladatokat egyaránt felöleli. A gazdaság lineárisról körkörössé alakítása érdekében az üzleti modellnek és a tervezési stratégiáknak kéz a kézben kell haladniuk [Bocken, N. M., 2016].

A körforgásos gazdaság céljai érdekében szükséges a már hatályos szabályi keretek időszakos felülvizsgálata, annak érdekében, hogy az eredeti célt a valósággal összevegyessük. Fontos, hogy megvizsgáljuk a már üzemelő hulladékkezelési technológiákat, optimalizáljuk és modernizáljuk őket az azóta rendelkezésre álló új technológiai eszközökkel, berendezésekkel, továbbá technológiai javaslatot tudjunk megfogalmazni az új szabályozási elvárásokhoz. Ahhoz, hogy hogyan lehet pontosabban definiálni körforgásos gazdaság (Circular Economy - CE) koncepcióját [COM 14, COM 15] az első tudományos kutatásokon alapuló kísérlet 2018-ban történt [Korhonen, J., 2018], azonban az eredmények nem voltak egyértelműek.

A jogszabályi keretekkel párhuzamosan az elmúlt 10-15 évben jelentősen fejlődtek a hulladékgazdálkodás és -kezelés technikai lehetőségei. A gyűjtőrendszerek, az előválogatási és válogatási technológiák fejlesztése, valamint a hasznosítási lehetőségek növekvő száma reményt ad a hulladék mennyiségének csökkentésére, az elsődleges nyersanyagok és a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának csökkentésére [Brunner, P. H., 2016] A csökkentés mellett természetesen még mindig hangsúlyt kap a lerakással kapcsolatos előírások betartása, betartatása is [Directive (EU) 2018/850, 2018]. Fontos azonban meghatározni azokat a trendeket és irányokat, melyek befolyásolják a hulladékgazdálkodás jövőjét, továbbá ehhez igazítani a már meglévő, vagy a jövőben tervezett eszközöket, technikákat, berendezéseket.

A hulladékra vonatkozó szabályozások és a rendelkezésre álló technológiák kölcsönösen fejlődnek. Új – pl. szenzor alapú technológiák – lehetővé teszik a döntéshozók számára, hogy magasabb elvárásokat állítsanak fel, amelyek a műszaki fejlesztéseket is elősegítik. Az új jogszabályokkal összhangban törekedni kell a hulladékközpontú fogyasztási cikkek kifejlesztésére és ambiciózus célok kitűzésére az újrahasznosítás tekintetében. [Sarkady, A., 2024].

Az új Mechanikai és Biológiai Hulladékkezelő (MBH) üzemek építése helyett a meglévők további korszerűsítése valószínűleg csökkenti a hulladéklerakók mennyiségét [Tóth, E., 2023]. Ebből a célból a hulladékkezelési technológiák, mint például az MBH és a csomagolási hulladék-válogató üzemek modellezése előnyös lehet a költségoptimalizálás szempontjából, valamint lehetővé teheti az ilyen technológiák teljesítményében bekövetkezett változások előrejelzését.

A következő években több hulladékáramot terveznek szelektíven gyűjteni vagy korszerű berendezésekkel válogatni, hogy energiaforrásokat és nyersanyagokat juttathassanak vissza a gazdaságba. A települési csomagolási hulladékok esetében a DRS rendszerek és az optikai válogatórendszerek elterjedése várható. Ezek a szofisztikált automata üzemek számos optikai válogató berendezést tartalmazhatnak kapacitásuk növelése, valamint a szükséges emberi tényezők mértékének csökkentése érdekében, azonban jelenleg is vizsgálat tárgya, hogy egy ilyen rendszer miképpen befolyásolja a műanyag csomagoló anyagok (pl. PET palackok) újrahasznosíthatóságát is [Bobek-Nagy, J., 2023].

2. Irodalmi áttekintés

2.1 hulladékgazdálkodás céljai

A környezetünk állapotának kihívásaival egyre gyakrabban találkozunk mindennapi életünkben. Amire pár évtizede még lokális hatású kihívásként tekintettünk, később globális problémává nőttek. A tevékenységünkből eredő környezeti károsítás lassan, de a köztudat részévé vált. Helyi, regionális és nemzetközi új környezeti célok kerültek megfogalmazásra. A környezettudatosság stratégiai intézkedések meghozatalára ösztönözték a döntéshozókat.

A hulladékgyűjtés, -ártalmatlanítás és -hasznosítás módja és mértéke alapvetően befolyásolja egy-egy terület, régió, ország környezeti állapotát, közegészségügyi helyzetét. A közös cselekvés elengedhetetlen a szennyezések visszaszorításában. Mivel a hatások országhatárokon túlnyúlnak, így a beavatkozásokat, gyakorlatokat és szabályozásokat is ezzel összhangban kell megteremteni.

A hulladékokkal kapcsolatos spektrum a termék tervezésétől a hulladékká válásán át a hulladék ártalmatlanítása, illetve gazdaságba történő visszaforgatása jelenti. Ez a gazdasági életciklus megközelítése az elmúlt évtizedekben nagy mértékben változott. A legjelentősebb modellváltás a lineáris (2.1 ábra) gazdaság átalakítása körforgásos gazdasággá (2.2 ábra) volt.



2.1. ábra: A lineáris gazdasági modell által felvázolt folyamat

forrás: Hulladékgazdálkodók Országos Szövetsége



2.2. ábra: A körforgásos gazdaság modellje

forrás: Európai Parlament kutatószolgálat

Itt a termék az életciklusa végén ismét alapanyaggá válik. A körforgásos gazdaság megvalósítása érdekében az elmúlt időszak elért eredményeire támaszkodva, valamint a technológiai fejlődését figyelembe véve időszakosan felül kell vizsgálni a hatályos szabályozási kereteket, hogy összehasonlítsuk azokat az eredetileg kitűzött célokkal.

A Római Szerződés [Roma Treaty 1957] és a Maastrichti Szerződés [Treaty of Maastricht 1992] után létrejött Európai Gazdasági Közösség – autonóm nemzetközi jogi személyként – már több mint négy évtizede alakítja a hulladékgazdálkodás jogi kereteit. A hulladékgazdálkodási hierarchiát a 2.3. ábra mutatja.

HULLADÉKPIRAMIS A HULLADÉKKEZELÉS SZINTJEI



CÉL, HOGY A PIRAMISON FELFELÉ HALADVA CSÖKKENTSÜK A KÖRNYEZETÜNKRE GYAKOROLT KÁROS HATÁST.

2.3. ábra: Hulladékpiramis

Forrás: [Zöld Föld tankönyv](#)

Az uniós hulladékgazdálkodás a 75/442/EGK tanácsi irányelven [Council Directive 75/442/EEC, 1975], valamint annak módosításait egységes szerkezetbe foglaló 2006/12/EK európai parlamenti és tanácsi irányelven [Directive 2006/12/EC, 2006] alapul, amely a technikai és intézményi elemeket tárgyalja. További forrás a 97/C 76/01 tanácsi határozat [Council Resolution, 1997], mely a hulladékgazdálkodás közösségi stratégiáját fogalmazza meg.

A hulladékokról szóló keretirányelv, a 2008/98/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv [Directive 2008/98/EC, 2008] további jelentős átalakítást hozott. A 2008/98/EK irányelv célkitűzései konkrét jövőbeli kötelezettségeket határoznak meg a tagállamok számára, mel alapján a tagállamoknak 2013. december 12-ig kellett véglegesíteniük nemzeti hulladékkezelés-megelőzési programjukat.

2.1.1. Az hulladékgazdálkodás részletes szabályozása

Az európai hulladékgazdálkodás alapvető jogszabályában – a 2008/98/EK irányelvben – a horizontális jogszabályok integrálása történt meg. Ennek megfelelően a szabályozással az alábbi területek voltak érintettek:

- A kiterjesztett termelői felelősségről szóló 8. cikk, valamint az önellátás és a közelség elvének alkalmazásáról szóló 16. cikk. E rendelkezések célja, hogy minden tagállam biztosítsa a hulladékok hasznosítását és ártalmatlanítását.
- Az új irányelv a korábbi háromszintű hierarchiát öt szintre bővítette, amelyet hulladék-hierarchia-piramisnak neveznek, így az újrahasználat a hulladékcsökkentéshez vezető megelőzéshez kapcsolódik, míg az újrahasználat előkészítése, az újrafeldolgozás és a hasznosítás egyéb formái, pl. az energetikai hasznosítás, a hulladékhasznosításon belül egyetlen szintet foglalnak el.
- Versenysemlegesség biztosítása; egyenértékű környezetvédelmi követelmények megállapítása a különböző hulladéktípusok kezelésére. Ennek érdekében vezették be a hulladéknylvántartást a 2000/532/EK sz. bizottsági határozattal [2000/532/EC: Commission Decision, 2000].
- A „biohulladék” külön anyagárammá vált. Az irányelv 22. cikke a biohulladék kezelésének általános kérdéseivel foglalkozik, hogy elősegítsék az újrahasznosítást.
- A 6. cikk meghatározza azokat a kritériumokat, amelyek alapján egy anyag vagy frakció megszűnik hulladéknak lenni, azaz többé nem minősül jogi értelemben sem hulladéknak.

A 2008/98/EK irányelvet időközben többször módosították 2015. június 1-én, 2015. július 31-én és 2018. július 5-én. A módosítások során a következő célokat határozták meg:

- 2015-re be kellett vezetni a papír, a fém, a műanyag és az üveg szelektív gyűjtését;
- 2020-ig legalább 50%-kal növelni kellett a háztartásokból (és más, a háztartásokhoz hasonló hulladékot termelő forrásokból) származó papír, fém, műanyag és üveg újrafelhasználásának és újrahasznosításának arányát;

- 2020-ig legalább 70%-kal kellett növelni a nem veszélyes építési és bontási hulladék újrahasznosítási arányát (ideértve a feltöltéssel történő egyéb anyagok helyettesítését is);
- 2025-ig a háztartási hulladék 55%-át újra kell hasznosítani;
- 2035-ig pedig a települési hulladék tömegének kevesebb mint 10%-át lehet lerakókban elhelyezni az 1999/31/EK irányelvet módosító (EU) 2018/850 irányelvvel összhangban (Magyarország számára 2022-re 35, illetve 49%-os célt határoztak meg ezeken a területeken, ami meglehetősen ambiciózus célkitűzés).

Az EU egy új, 2020-ig szóló környezetvédelmi cselekvési programot [1386/2013/EU, 2013] javasolt „Jól élni, bolygónk határain belül” címmel, amelynek célja Európa ökológiai ellenálló képességének növelése és az EU fenntartható, zöld szervezetté alakítása 2050-re.

Egyéb szabályozások

Az Európai Unió számára fontos volt a hulladéktípusok osztályozásának egységesítése a hulladék export és import okán is. A veszélyes és nem veszélyes hulladékok korábbi jegyzékeit egységes szerkezetbe foglaló 2000/532/EK bizottsági határozat bevezette a hulladéktípusok jegyzékét (EWC – European Waste Catalogue). Ezt a határozatot elfogadása óta többször módosították.

A 2000/76/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv [Directive 2000/76/EC, 2000] fő célkitűzése a hulladékok égetéséből és együttégetéséből eredő negatív környezeti hatások megelőzése és korlátozása. 2006. július 12. óta a hulladékok országhatárokon át történő szállítása az 1013/2006/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet [Regulation (EC) No 1013/2006, 2006] értelmében különböző eljárásoknak és ellenőrzéseknek van alávetve.

A hulladéklerakókról szóló 1999/31/EK tanácsi irányelvet [Council Directive 1999/31/EC, 1999], amely a környezetre gyakorolt negatív hatások megelőzését vagy csökkentését célzó intézkedésekre, eljárásokra és iránymutatásokra vonatkozó rendelkezéseket tartalmaz, még a 2006/12/EK irányelvet megelőzően tették közzé.

2.1.2. Körforgásos gazdaság

A hulladékból származó anyagok visszanyerése (gyűjtés, kézi és mechanikus válogatás stb.) és hasznosítása, valamint az újrahasznosított anyagok felhasználása a termelésben előtérbe került, egyúttal kötelezettséggé vált. Ugyanígy prioritás lett a körforgásos gazdaság [Gaustad, G., 2018] szempontjából a kritikus alapanyagokkal (Critical Raw Materials - CRM) való gazdálkodás.

Hasonló módon lényegessé vált a fenntartható növekedés, az alacsony széndioxid kibocsátás, továbbá az erőforrások hatékony felhasználása. Ennek megfelelően szigorodtak az ipar felé megfogalmazott új jogszabályi előírások is, ami a termelőket rákényszerítette a hatékony együttműködésre a környezetipari (hulladék előkezelők, hasznosítók) szereplőkkel [COM, 2011]. A kutatási eredmények alapján fontos szakpolitikai eszköz az érthető, világos, valamint szigorú adóreform, ami biztosítja a környezeti externáliák költségeit így téve versenyképesebbé a másodnyersanyag-piacot [Spani, R. C., 2020].

A körforgásos gazdasági modellben a nem megújuló anyagok egy zárt körforgásban maradnak. E követelmények teljesítéséhez a fent említett elveket már a termék tervezésénél figyelembe kell venni. A termékeknek tartósnak kell lenniük, hogy minél később váljanak hulladékká, és akkor a célt teljesítve a „körforgásos gazdaság” keretében a hulladék a „múlté lesz” [Den Hollander, M., 2017]. A szelektív hulladékgyűjtésből származó anyagok használata az újrahasznosítás lényeges nyersanyagforrás a körforgásos gazdasági célok eléréséhez. Az újrahasznosításra való törekvés így már nemcsak jogi kötelezettség, hanem emberiség jól felfogott érdeke is.

Az Európai Bizottság 2014-ben közleményt tett közzé „A körforgásos gazdaság felé: hulladékmentességre irányuló európai program” [COM, 2014] címmel. A közlemény értelmében a célok elérése érdekében módosításokat javasolt a hulladékkal kapcsolatos legfontosabb uniós jogszabályokhoz, de a javaslatot az új Európai Bizottság (amely az év végi európai parlamenti választások után jött létre) visszavonta azzal a szándékkal, hogy 2015-ben új, átfogóbb javaslatot terjesztett elő, amely nem csak a termék életciklusának hulladékfázisára, hanem annak egészére összpontosít.

Az Európai Bizottság 2015-ben tette közzé a körforgásos gazdaságra vonatkozó új javaslatcsomagját. A csomag két fő részből állt: egy közleményből („A kör bezárása - uniós cselekvési terv a körforgásos gazdaságért” címmel), valamint jogszabály-módosítási javaslatokból [COM, 2015]. A javaslatban a Bizottság felvázolta a tervezett intézkedéseket, beleértve a jogalkotást és az uniós finanszírozási alapokból történő finanszírozást. A cselekvési terv első intézkedéseként a Bizottság közzétette a hulladékokra vonatkozó uniós jogszabályok, különösen a hulladékokról szóló keretirányelv, a hulladéklerakókról szóló irányelv, a csomagolásról és a csomagolási hulladékról szóló irányelv, az elhasznált járművekről szóló irányelv, az elektromos és elektronikus berendezések hulladékairól szóló irányelv, valamint az akkumulátorokról szóló irányelv módosítására vonatkozó javaslatát.

Az új szabályozás a papír-, fém-, műanyag- és üvegfrakciók kötelező begyűjtése mellett 2024 elejétől a biohulladékokra, valamint 2025 elejétől a háztartásokból származó textilhulladékokra és veszélyes hulladékokra is kiterjeszti a szelektív gyűjtést.

2.1.3. EPR, DRS, Koncesszió

A „tisztá” hulladékáramok már a világháborúkat követően is fontos szerepet játszottak, mivel az újjáépítés fontos nyersanyagai voltak [Cooper, T. 2008]. Ezt követően az Európában létező betétdíjrendszer az üres üvegpalackok újratöltésére összpontosított, emellett a fémeket és a papírt erre kijelölt helyeken gyűjtötték vissza. Bár a településeken végzett szanálási tevékenységek eredményeként a normál hulladékgyűjtés bővülni kezdett, sem közterületeken, sem a háztartásokban elhelyezett speciális konténereken kívül a lakosság számára nem állt rendelkezésre külön lehetőség a csomagolóanyagok vagy egyéb szelektív hulladékok gyűjtésére.

Ebben az időszakban Magyarországon a szelektíven gyűjtött hulladék aránya a teljes begyűjtött hulladékmennyiségnek mindössze 2-3%-a volt, szemben a nyugat-európai országok 15-20%-ával, sőt egyes országokban, pl. Ausztriában, Németországban, Hollandiában, Svájcban és Svédországban 25-30%-ot is elértek [Orosz, Z., 2008].

A vegyes háztartási hulladék mennyiségének csökkentése érdekében 2010 és 2015 között a jogszabályi rendelkezések alapján külön gyűjtési rendszert hoztak létre a

háztartásokból származó üveg-, fém-, műanyag- és papírhulladékokra (szelektív gyűjtés). E gyűjtési rendszer létrehozását követően a hulladékok további válogatására volt szükség ahhoz, hogy az iparban nyersanyagként tovább lehessen őket feldolgozni.

A fent leírt rendszerek hatékony működtetésének érdekében biztosítani szükséges a hulladékgazdálkodással kapcsolatos költségek forrását, legyen az gyűjtéshez kapcsolódó ösztönzésről, vagy a termékek életciklus végi hulladékainak kezeléséről, hasznosításáról.

A kiterjesztett gyártói felelősségről (Extended Producer Responsibility – EPR) szóló 80/2023. (III. 14.) kormányrendelet az EPR alkalmazásáról [80/2023, 2023] tisztázza, hogy a gyártóknak hogyan kell felelősséget vállalniuk a termékeikből származó hulladék kezeléséért, amit a kiterjesztett gyártói felelősségre vonatkozó új szabályokkal kényszerítenek ki.

Az Európai Parlament és a Tanács a csomagolásról és a csomagolási hulladékról szóló 94/62/EK európai parlamenti és tanácsi irányelvet [Council Directive 94/62/EC, 1994] – más néven a csomagolásról és a csomagolási hulladékokról szóló irányelve –, az (EU) 2018/852 irányelvvel [Directive (EU) 2018/852, 2018] is módosította. Ez leírja a betétdíjas visszavételi rendszert (Deposit-Refund System – DRS), amelynek célja a szelektíven gyűjtött hulladék mennyiségének növelése és a vegyes háztartási hulladékból a csomagolóanyagok eltávolítása [Boros A., 2018]. A tagállamok célja, hogy 2025-re 77%-ot, 2029-re pedig 90%-ot gyűjtsenek be, valamint, hogy a ez így gyűjtött anyagok kevésbé legyenek szennyezettek.

A várhatóan tisztább és nagyobb mennyiségű szelektív hulladékáramok hasznosítása, Magyarországon is – hasonlóan a többi tagállamhoz – hozzá tud járulni a körforgásos gazdaság értékeihez [Sarkady, A., 2013]. Az új célok ambiciózusok mivel a tervek szerint [Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2021-2027] az újrahasznosított hulladék jelentős százalékos arányát célozzák meg, amint azt az 2.1. táblázat szemlélteti.

2.1. táblázat: A csomagolásról és a csomagolási hulladékokról szóló 94/62/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv által meghatározott újrafeldolgozási célértékek forrás: Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2021-2027

Újrafeldolgozási célértékek			
	2025. december 31-ig	2030. december 31-ig	derogációs lehetőségek
műanyag	50%	55%	a derogációs eltérés legfeljebb 15% lehet egy vagy két alcél között megosztva
fa	25%	30%	
vasfém	70%	80%	
alumínium	50%	60%	
üveg	70%	75%	az egyes célértékre vonatkozó újrafeldolgozási arány nem csökkenhet 30% alá
papír és karton	75%	85%	
összes csomagolási hulladék	65%	70%	az üveg és a papír esetében a célszám nem lehet 60%-nál kisebb

A szabályozási változások eredményeit feldolgozva az új stratégiai irányokat a legújabb uniós „Környezetvédelmi cselekvési program 2030-ig” [Decision (EU) 2022/591, 2022] foglalja össze. A változó hulladékgyűjtési, hulladékkezelési és -válogatási technológiák szintén meg fogják változtatni a gyűjtött hulladékok mennyiségeit, jellemzőit. A jövőben várhatóan tisztább és nagyobb mennyiségű szelektív hulladékáramot kell majd kezelni, válogatni és hasznosítani, ami kihívásokat jelent a meglévő kiépített technológiák vonatkozásában.

Magyarországon az Európai Unió hulladékgazdálkodással összefüggő irányelveinek történő megfelelést célzó törvények szükséges módosítását 2022 decemberében fogadta el az Országgyűlés, a végrehajtáshoz szükséges részletszabályok tervezeteivel együtt (kormányrendeletek, miniszteri és Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal – MEKH rendeletek). Ezek nyomán 2023. július 1-jétől a Magyar Állam felelősségi körébe kerül a hazai hulladékgazdálkodási rendszer, a tényleges végrehajtás pedig egy pályázaton kiválasztott koncesszor, a MOL Hulladékgazdálkodási Zrt. (MOHU Zrt.) útján valósul meg a koncessziós társaság és a Koordináló szerv együttműködésére vonatkozó részletes szabályokról szóló 270/2023. (VI. 29.) Korm. rendelet szerint [270/2023, 2023]. A szabályzásokkal összhangban a legfontosabb vállalása, hogy a koncesszió indulásától 2040-ig a települési hulladék 32%-os újrahasznosítási arány eléri a 65%-ot, míg a hulladéklerakóba kerülő hulladék aránya 10% alá csökken a jelenlegi mintegy 50%-ról.

2.2. Lakossági hulladékok kezelése – lerakás minimalizálása (MBH)

2.2.1. Mechanikai biológiai hulladékkezelés

Az EU tagállamai között számos esetben továbbra is jelentős a vegyes háztartási hulladék lerakással történő kezelése. A hulladékok és különösen a magasabb szervesanyag tartalmú hulladék lerakása negatív hatással van a környezetre, így a figyelem a hulladék lerakásának vizsgálatára irányult, mivel még az új szabályozással rendelkező hulladéklerakók esetében is jelentős negatív hatással voltak a környezetre [Khoiron, K.,2020]. A hulladéklerakók esetében elsősorban a szervesanyagtartalom kapcsán kialakuló negatív hatások és kockázatok (pl. csurgalékvíz paraméterek, közegészségügyi kockázatok, szaghatások, stb.) csökkentésére a megfelelően kialakított a biológiai aktivitás intenzív csökkentését célzó biológiai kezelés lehet hatásos [Siddiqua, A., 2022]. Tanulmányok rámutattak, hogy ezen időszak legnagyobb kihívásai közé – üveg és műanyagcsomagoló anyagok újrafeldolgozó iparának fejletlensége mellett – már a nagy számú rekultiválandó hulladéklerakó tartozott [Orosz, Z., 2008].

Az első egyszerű MBH üzemeket Németországban hozták létre az 1970-es években [Kuehle-Weidemeier M., 2007]. Az MBH a hulladékok előválogatására összpontosít, és arra törekszik, hogy minimalizálja a maradékok biológiailag lebomló hányadát a folyamat végén, ahelyett, hogy a teljes hulladékáramot egy lépésben kezelné, ellentétben az égetéssel [Di Lonardo, M., 2012]. Korábbi vizsgálatok már kimutatták, hogy a hulladékégetéssel szemben az alternatív tüzelőanyagok égetése kedvezőbb környezetvédelmi, és gazdasági szempontokból egyaránt. [Chang, Y., 1998]

Az MBH üzemek esetében stabilizálás mellett lényeges volt a még hasznosítható anyagok kinyerése, illetve a lerakásra kerülő anyagok mennyiségének a csökkentése, illetve a hulladéklerakón szükséges segédanyagok kiváltása a hulladékból kinyert egyéb anyagokkal (pl. takarás, útépités). [Csőke, B., 2006]Az MBH technológia elősorban Ausztria, Olaszország, Németország (majd ezt követően az újonnan az EU-hoz csatlakozott középeurópai országok) választották, addig más országok a hulladékégetésben látták a megoldást (pl. Svédország, Norvégia, Svájc). Ennek megfelelően Európában a mechanikai-biológiai kezelés a vegyes hulladék feldolgozásának legelterjedtebb módjává vált [Edo-Alcón, N., 2016]

Az MBH céljai már a hetvenes években megfogalmazásra kerültek. A mechanikai előfeldolgozási lépések úgy kerültek kialakításra, hogy két fő kezelési irány legyen biztosított a vegyes hulladék kapcsán:

- A hulladék megfelelő – méret szerinti – frakcionálásával biztosított legyen a biológiailag aktív frakció hatékony elválasztása és homogenizálása biológiai előkezelési folyamatokhoz, valamint;
- a hulladékok egyéb előválogatásával le lehessen választani az újrahasznosítható anyagokat (pl. műanyagok és fémek), valamint el lehessen távolítani a zavaró összetevőket.

Az integrált és komplex kezeléssel a hulladékgazdálkodás célja a hulladék lerakásának minimalizálása, valamint az értékes frakciók kinyerésével a hulladékhasznosítás növelése. Az alternatív tüzelőanyag előállításának a szerepe meghatározó lett a cementipari alkalmazás kapcsán. Az alacsonyabb energiafogyasztásra való törekvés a prekalcináló technológia és a hatékony hűtőrendszerek elterjedését eredményezte. A prekalcináló technológia további előnye, hogy ez a rendszer alkalmasabb az alternatív üzemanyagok fokozottabb felhasználására. [Bocskay, B., 2009].

A Mechanikai és Biológiai hulladékkezelési eljárások több fajtája került kifejlesztésre. Ezek alapvetően eljárás típusok és alkalmazott technológiai gépek és berendezések kapcsán térnek el egymástól [Csőke, B., 2006]. Főbb hulladékkezelési eljárások:

- A Mechanikai Biológiai Hulladékkezelés (MBH) esetében a biostabilizálás az aprított hulladék szeparációját követően kerül sor
- A mechanikai-biológiai stabilizálás (MBS) – más nevén biológiai-mechanikai hulladékkezelés – során előbb történik az aprított hulladék biostabilizálása és ezt követően a már alacsonyabb nedveségtartalmú anyag szeparációja
- Mechanikai fizikai stabilizáció (MFS) során a nedveségtartalom csökkentése egyéb külső hőközléssel történik

Egyéb – főként ipari és kereskedelmi – hulladékok, vagy elkülönítetten gyűjtött csomagolási hulladékok esetében elhagyható a biológiai kezelés, így csak a mechanikai szeparációs műveletekre van szükség.

A Waste to Energy (WtE) felhasználás kapcsán az Európai Bizottság COM 2017/34 közleményében foglalt megállapításai szerint a legjobb technológiai az alábbiak [COM, 2017]:

- égetőműben történő együttégetés;
- együttégetés a cement és a mész termelésekor;
- hulladékégetés erre szolgáló hulladékégetőben;
- anaerob lebontás.

Az MBH kezelés során jelentős mennyiségben keletkezik a TSZH-ból biofrakció. Az e frakcióban rejlő energetikai potenciál jelentős. A potenciális helyettesítő tüzelőanyag a nagyobb mérettartományban dúsul [Tóth, E., 2023]. Azt, hogy milyen biológiai előkezelést célszerű választani (aerob, vagy anaerob), illetve milyen mértékű stabilizálást célszerű elvégezni, nagyon nagy mértékben befolyásolják az adott ország emissziós előírásai, gazdasági helyzete [Ritzkowski, M., 2006].

Az energetikai hasznosítás nemcsak az alternatív tüzelőanyag (RDF/SRF) termikus hasznosítása lehetséges, hanem a bizonyos esetekben a biofrakció (B frakció), illetve annak csurgalékvíze is potenciális energiaforrás lehet [Rózsenszerszki, T., 2021].

Számos esetben a hulladék jellege nem igényel biológiai kezelést (főként ipari, kereskedelmi). A mechanikai hulladékkezelés ez esetben is fontos, nagy hatásfokú eszköz, mivel a tüzelőanyag előállítás mellett jelentős mennyiségű anyagában (főként fémek) hasznosítható hulladék választható le és vezethető vissza a gazdaságba [Nasrullah, M., 2014]

2.2.2. MBH-k Magyarországon és Európában

Az elmúlt 10-15 évben fontos megközelítés lett a regionalitás és integráció. Ennek megfelelően kerültek kialakításra az új hulladékgazdálkodási rendszerek, melyek fontos célkitűzésévé vált a megelőzés mellett a lerakótól minél nagyobb arányban történő eltérítés, továbbá a hasznosítható hulladékok minél nagyobb arányban történő visszavezetése az iparba [Leitol, Cs., 2012]

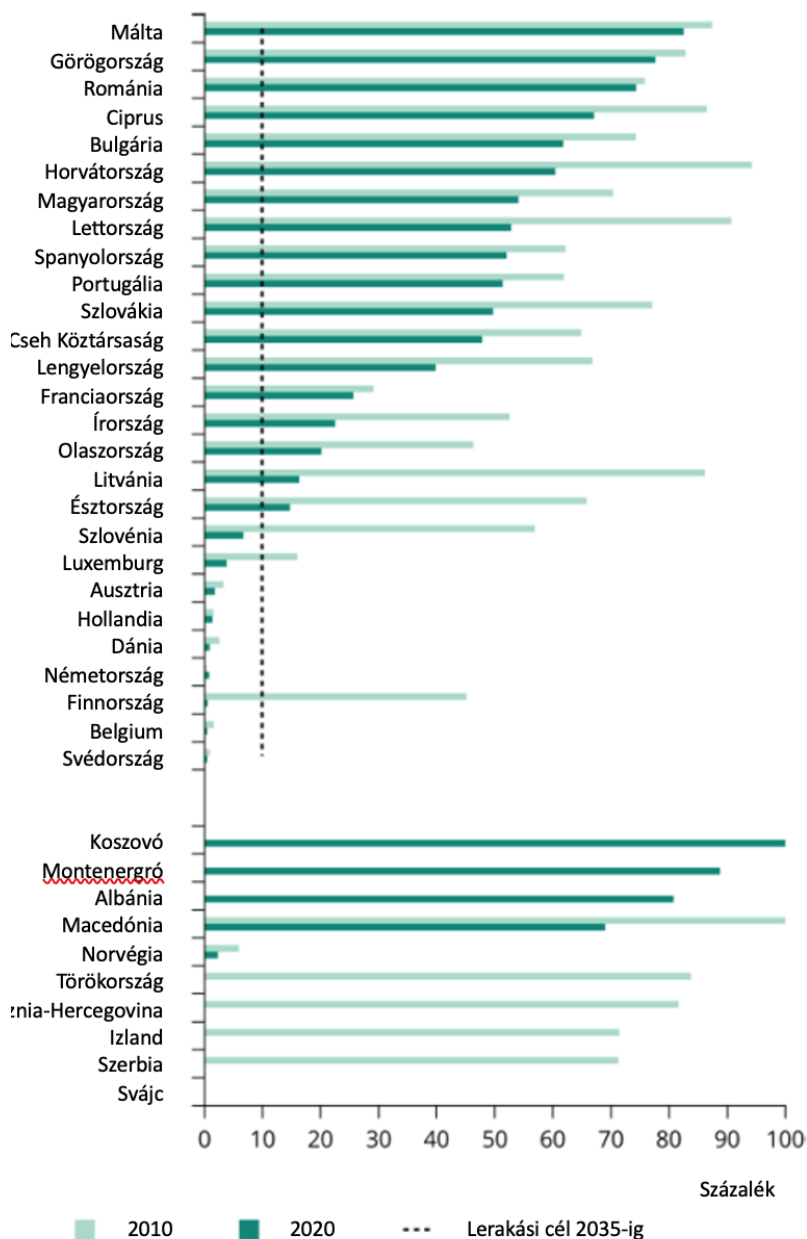
A 2000-es évektől az uniós hulladéklerakási szabályozásnak és a pénzügyi forrásoknak köszönhetően több beruházás valósult meg a hulladék lerakókból való eltérítésre [Di Lonardo, M. 2012]. Az MBH létesítmények tervezésére és kivitelezésére uniós források álltak a tagállamok – köztük Magyarország – rendelkezésére, az ISPA (Előcsatlakozási stratégia keretében nyújtandó strukturális támogatás) és a Kohéziós Alapok [Council Regulation (EC) No 1267/1999, 1999; Regulation (EU) No 1300/2013, 2013] pénzügyi támogatásával. Magyarországon például az Országos Hulladékgazdálkodási Terv (OHT) 4,7 millió tonnáról 5,2 millió tonnára prognosztizálta a hulladék mennyiségének növekedését, melyhez illeszkednie kellett a regionális rendszereknek. [Országos Hulladékgazdálkodási Közszolgáltatási Terv, 2017]. Az MBH üzemek az 1999/31/EK irányelvvel összhangban az alábbi célokat tűzték ki:

- a még visszanyerhető (anyagként vagy energetikailag) frakciók mechanikai úton történő szétválasztása,
- biológiailag aktív frakció mennyiségének csökkentése biostabilizálással,
- A biológiailag aktív frakció minőségének javítása (veszélyességének csökkentése, aktiválódása) biostabilizálással, valamint a lerakó üzemeltetéséhez szükséges takaróanyag visszanyerésével.

Magyarországon az az első MBH üzemek 2005-2012-ben épültek meg főként uniós támogatással az Új Széchenyi Terv 2007-2013 részeként [Environment and Energy Operational Programme 2007-2013, 2007].

Ezt követően Magyarországon és Európában is jelentősen megnőtt a megépült technológiák száma. Magyarországon 2017-ben már 27 MBH és mechanikus tisztító üzem (MH) működött, 1,62 millió tonna TSHZ kumulált bemeneti kapacitással, ami a települési összegyűjtött vegyes hulladék mennyiségének mintegy 55%-át fedi le Országos Hulladékgazdálkodási Közszolgáltatási Terv 2017 (Cselekvési Terv) [Országos Hulladékgazdálkodási Közszolgáltatási Terv, 2017].

Ez a növekedés még mindig tart. Az Ecoprog kutatási jelentése [Ecoprog: The market for mechanical biological waste treatment in Europe, 2017] szerint 2025-re Európában 65 millió tonna vegyes hulladék becsült feldolgozó kapacitása lesz, amelyen 690 üzem osztozik. A 2.4. ábra a két vizsgált évtized között a lerakás csökkenését mutatja be. E szerint a két vizsgált évtized között a hulladéklerakás csökkenése figyelhető meg.



2.4. ábra: A települési hulladéklerakás aránya Európában országonként

Forrás: európai környezetvédelmi ügynökség

A megvalósult regionális MBH-üzemek 10 év alatt elért technológiai fejlődése ellenére számos EU-tagállam még mindig nagyon messze van a hulladéklerakók minimalizálására vonatkozó célok elérésétől.

A nem egyértelmű előírások és az MBH szabályozás hiánya miatt – amelyet korábban többször is terveztek, de nem véglegesítettek – ezeket a rendszereket különböző módon valósították meg. Ennek megfelelően az Európai Unióban, és kiemelten a később csatlakozott

országok esetén a TSZH-kal kapcsolatos gazdasági szabályozottság és a létrehozott technológiák jelentősen eltérnek [Malinauskaite, J., 2017].

Az alkalmazott technológiák az egyszerű mobil berendezéses rendszertől a többféle anyagáram kiválasztására képes összetett technológiáig terjedtek, ami megnehezíti a rendszerek összehasonlítását. Sok esetben a kimeneti anyagáramok elemzésére volt szükség. Az egyszerű rendszerek többé-kevésbé stabil bemeneti anyagok esetén voltak használhatók, míg a robusztus rendszerek – például a szezonális változások által okozott – változó bemeneti anyagok mellett is képesek voltak stabil kimeneti anyagot előállítani, [Csőke, B. 2006].

A homogén technológiák hiánya és bizonyos szabályozási elemek hiánya megnehezíti a technológiák összehasonlítását mind működésük, mind potenciáljuk tekintetében. A helyi inputanyagoknak megfelelően az MBH-üzemek optimalizálásával is foglalkozni kellett, hogy a működési paraméterek elérjék a kívánt minőségű kimenet előállítását, a tervezést ezen tényezők figyelembevételével mellett kell megtenni [Sarkady, A, 2015a; Leitöl, Cs. 2016].

2.3. Számítógéppel segített tervezési lehetőségek a hulladékgazdálkodásban

A körforgásos gazdaság az elmúlt években a figyelem középpontjába került. A hulladékcsökkentés, a hulladékcsökkentés és az újrahasznosítás fontossága döntő hatással van a jövő gazdaságára és a környezet védelmére [Dinu, M., 2008]. Az ipari gazdaság új struktúrája csak akkor működik, ha a különböző hulladékáramokból elfogadható tisztaságú és megfelelő mennyiségű anyagokat sikerül újra bevezetni és a termelésben újra felhasználni. A megfelelő válogatás alapja a megfelelő válogatósor.

A válogatáshoz szükséges ismerni a bemenő anyag paramétereit, esetleg várható változásait, továbbá a felhasználó (újrahasznosító) ipar elvárásait. A technológiai berendezések paraméterezése lehetőséget nyújthat arra, hogy számítástechnikai programok segítségével tervezni és modellezni lehessen egy-egy technológiát, és abból becsülni lehessen annak alkalmasságát az adott feladatra.

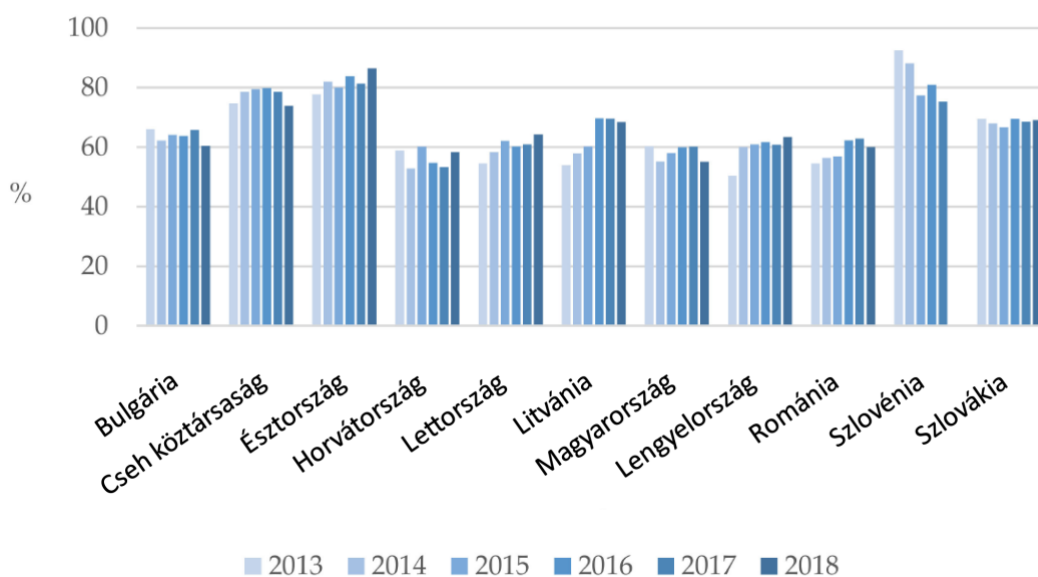
2.3.1. A haszonanyag leválogatás fejlesztésének szükségessége

A standardizált technológiák és az egységes jogszabályi követelmények hiánya megnehezíti a technológiák összehasonlítását mind működésük, mind hatékonyságuk tekintetében. Az MBH, MH, valamint a szelektív válogató üzemek optimalizálásával azonban foglalkozni szükséges az bemenő hulladékáramok alapján, hogy a működési paraméterek a kívánt hatékonyságot elérjék. [Sarkady, A., 2015b].

Magyarországon a 2000-es évek elején a szelektíven gyűjtött hulladék aránya mindösszesen 2-3% volt, míg a nyugat-európai országokban az átlagos arány elérte a 15-20%-ot, azonban némely ország esetében (például Ausztriában, Németországban, Hollandiában, Svájcban és Svédországban) index elérhette akár a 25-30%-ot [Orosz, Z., 2008].

Az elmúlt évek eredményei ellenére jelenleg még nem sikerült elérni a megfelelő újrahasznosítási arányszámokat Magyarországon. Az italos csomagolási hulladék jelentős része továbbra is vegyes lakossági hulladékba kerül, amelyeket a legjobb esetben alternatív üzemanyagként használnak fel, rosszabb esetben hulladéklerakókba kerülnek. Az Eurostat, valamint a „Tanács 1997. február 24-i állásfoglalása a közösségi hulladékgazdálkodási stratégiáról” szerint Belgiumnak és Finnországnak a csomagolás 100%-át újra kellett hasznosítani 2017-ig termelnek, szemben az EU-ban átlagos 80%-kal.

Közép- és Kelet-Európát vizsgálva (2.5. ábra) megállapítható, hogy Csehország és Észtország eléri az EU-átlagot, míg Magyarországon a keletkező csomagolóanyagok 60%-a került csak újrahasznosításra 2017-ben, azonban 2018 ez lecsökkent 55,1%-ra.



2.5 ábra: csomagoló anyagok újrahasznosításának aránya.

Forrás: Eurostat

Az Eurostat szerint Belgiumnak és Finnországnak 2017-ig az általuk előállított csomagolás 100%-át újra kell hasznosítani, szemben az EU-ban átlagosan 80%-kal. 2021-re az EU-ban legmagasabb a hulladék újrahasznosítási aránya Belgiumban, ahol ez az érték mintegy 80%. 10 országban haladta meg az uniós átlagot (65%).

A vegyes háztartási hulladék mennyiségének csökkentése érdekében a 2010-2015 közötti időszakban a jogszabályi előírások alapján a háztartási üveg-, fém-, műanyag- és papírhulladék elkülönített gyűjtési rendszerét (szelektív gyűjtés) alakították ki hazánkban is. Ennek válogatására várhatóan automatizált technológiákat szükséges üzembe helyezni a mindenkori gyűjtéshez igazodó technológiai berendezésekkel és azok jól megválasztott sorrendjével, ehhez azonban megfelelő tervezés és az azt segítő eszközök szükségesek.

2.3.2. Technológiák vizsgálata szimulációval

A hulladékgazdálkodási modellezés napjainkban széles körben kutatott terület. Számos ismertető cikk született ezen a területen. Az input-output modellek hulladékgazdálkodási elemzésben való alkalmazhatóságáról átfogó áttekintést ad a [Towa, E. 2020]. A mesterséges intelligencián alapuló modellek is egyre elterjedtebbek ezen a területen [Abdallah, M. 2020].

A fenntartható körkörforgásos gazdaságra való áttérés lehetetlen korszerű szimulációs eszközök alkalmazása nélkül [Trica, C. L., 2019].

A hulladékválogató folyamatsorok moduláris és rugalmas szimulátora kutatási hiányt jelent. Ezt támasztja alá, hogy a hulladékválogatási technológiák esetében gyakran csak korlátozott számú mérési pont található a technológiában, ami azt jelenti, hogy az adatok nagy bizonytalanságnak vannak kitéve. Ezért egyre nagyobb igény mutatkozik olyan szimulációs módszerek és eszközök kidolgozására, amelyek kis mérési adatokkal is támogatni tudják a technológiai fejlődést, szakértői tudásra támaszkodva és az adatbizonytalanságot kezelve.

Vannak általánosan alkalmazható moduláris szimulátorok, a hulladékválogatási technológiák alapanyagai azonban annyira változatosak, hogy ezen szimulátorok tulajdonságbecslési módszerei nem, vagy csak korlátozottan alkalmazhatók [Straka, M., 2018]. Ráadásul ezeknek a szimulátoroknak a beszerzési költsége magas, ami azzal a ténnyel párosulva, hogy még alkalmazásuk is erősen korlátozott, gyakran nem éri meg az ipar számára.

A változó jogszabályok, gyűjtési rendszerek, csomagolóanyagok specifikációi stb. okán olyan szimulátorra lehet szükség, amely olcsó, rugalmas, és csak a gyors és átlátható technológiafejlesztéshez feltétlenül szükséges komplexitással rendelkezik.

A hulladékválogatás fő kihívása a technológiai paraméterek bizonytalansága. Ezen technológiai paraméterek közül a legfontosabbak a válogatórendszerekbe kerülő hulladékáramok összetétele és az egységek leválasztási hatékonysága [Kleinhans, K., 2021]. Ennek a területnek alapvető nehézsége, hogy kevés mérést (összetétel, tömeg stb.) végeznek a gyártósorokon.

A hulladékfeldolgozó berendezések modellezése kevésbé kutatott terület. Például a szemcseméret-karakterisztikát dobszítákon vizsgálták [Kratky, L., 2020]. Dimova és társai [Dimova, T. 2020] részletes matematikai modellt írtak le a hulladékanyag elektromágneses dobleválasztójára. Új megközelítést mutattak be egy örvényáramú szeparátor numerikus elemzésére a színesfémek hulladékokból történő visszanyerésére [Merahi, A., 2020].

Amint az a fenti példákból látható, matematikai modellek nem állnak rendelkezésre a technológiákban szereplő összes berendezéshez. Emellett csak néhány publikáció foglalkozott

a teljes hulladékkezelő telepek modellezésével és szimulációjával. A hulladékégetés fenékhamuból történő anyaghasznosítás modellezését 5 hulladékégető adataival került illusztrálásra [Huber, F., 2020]. A hulladékválogató üzemek értékelésének szisztematikus megközelítését Alexander Feil és társai [Feil, A., 2017] mutatták be. Prediktív modellezési megközelítést javasoltak a háztartási csomagolási hulladékok anyagáramainak vizsgálata a válogatóüzemekben [Kleinhans, K., 2021].

Megállapítható, hogy a kezelt anyagáramok összetétele, a változó hulladékgyűjtési módok és a felvevő ipar elvárásai folyamatosan változnak. A technikai fejlődés újabb és újabb válogatóberendezések fejlesztését eredményezi. A technológia fejlődésének eredményeként mára már megoldott olyan anyag típusok gépi leválogatása is, ami korábban nem volt lehetséges, így pl. fekete műanyagok optikai válogatása [Pinke M., 2019].

Ilyen körülmények között célszerű a különféle technológiai sorokat modellezés eszközével felépíteni már a tervezési fázisban, annak érdekében, hogy a megvalósítást megelőzően vizsgálni lehessen az optimális kialakítást, illetve felülvizsgálni meglévő technológiákat vagy javaslatot tenni átalakításra az felmerülő igények alapján.

Összességében a fejezetből megállapítható, hogy:

- A körkörforgásos gazdaság mára a legfontosabb gazdasági és környezetvédelmi stratégiai irányzattá vált. A lerakás megszüntetése és a hasznosítás maximalizálása a legfontosabb cél. A jogszabályi előírások ebből a törekvésből vezethetők le. Jellemző trend a folyamatos szigorodó célszámok felállítása, valamint a technológiák fejlesztésének motiválása.
- A lokális adottságokra (hulladék jelleg és hasznosítóipar) kell felépíteni a regionális hulladékgazdálkodási rendszereket a globális céloknak való megfelelés érdekében, a technológiák tervezésekor ezt kell figyelembe venni.
- Nem elégséges forrást teremteni a hulladékgazdálkodás (valamint a fogyasztói társadalmat jellemző gazdaság) externális költségeire, de gazdasági motiváltságot szükséges kialakítani a lakosság és a gazdaság egyéb szereplőinek bevonásával.
- A gyorsuló technológiai fejlődés (pl. szenzor alapú válogatók) és a változó gyűjtött hulladékok, valamint a hasznosítóipari igények okán célszerű lehet számítógéppel segített tervezés a megfelelő technológia kiválasztásához, vagy a meglévő fejlesztéséhez.

3. Anyagok és módszerek

3.1.RDF/ SRF előállító rendszerek tervezésének elvei

A hulladékból RDF/SRF gyártó technológiai rendszerek tervezéséhez elengedhetetlen a piaci szükségletek vizsgálata. A megfelelő technológia érdekében célszerű a reálisan elérhető partnerekkel való kapcsolatfelvétel, a technológia megismerése, továbbá a technológiában alkalmazható fűtőanyag kritériumok azonosítása.

A technológia tervezésekhez elsősorban külföldi gyakorlati tapasztalatokat igénybe vettem igénybe. Elsősorban német és osztrák példák tudtak alapul szolgálni a tervezéshez. Magyarországon a tervezést nagy mértékben segítették a hazai kísérletek [Csőke, B., 2006]. A tervezés során elsősorban a hazai átvevőpiac ismerete volt szükséges. Ez alapján volt szükséges meghatározni a minőségi paramétereket, majd ezt követően az alapanyagok ismeretében tettem javaslatot a megfelelő technológiai kiválasztására. Természetesen a tervezés során figyelembe kellett vennem a rendelkezésre álló pénzügyi források korlátjait is.

Célom egy olyan mechanikai és biológiai hulladékkezelő tervezése és megvalósítása volt, mely jelentős mértékben képes csökkenteni a hulladéklerakóra kerülő lakossági vegyes hulladék mennyiségét azzal, hogy a felhasználó ipar felé maximálja a tüzelőanyag átadását azok igényeinek megfelelően.

3.1.1. Az RDF/SRF hasznosító ipar és igényei

A tervezési tevékenység érdekében az alábbi forrásokkal és módszerekkel dolgoztam:

- Műszaki háttér irodalmi kutatása (tanulmányok)
- Európai rendszerek megismerése és összehasonlítása az interneten nyilvánosan elérhető publikációk, hírek, tájékoztató anyagok feldolgozásával (szekunder kutatás)
- Személyes egyeztetés RDF/SRF-et felhasználó, vagy azt felhasználni tervező létesítmények szakmai felelőseivel
 - Holcim Kft. (Lafarge Kft.)

- DDC Duna Dráva Cement Kft.
 - Veolia Energia Magyarország Zrt. (Korábban Bakonyi Erőmű Zrt.)
 - Geosol Kft.
- Személyes egyeztetés SRF vizsgálatot végző laboratóriumi szakértőkkel

A helyettesítő tüzelőanyag hulladékstátuszban maradása esetén hulladékból származó tüzelőanyag – Refuse Derived Fuel (RDF) – definícióval bír, a hasznosítás során ez az anyag szilárd visszanyert tüzelőanyag – Solid Recovered Fuel (SRF). Az SRF minősítés érdekében végzett vizsgálatokhoz az MSZ 21420-28 (hulladék összetétel), valamint az MSZ 21420-29 (MSZ 21420-29; MSZ 21420-28) – mintavétellel és mintaelemzéssel kapcsolatos szabványok adtak útmutatást.

Az SRF az MSZ EN ISO 21640:2021 szabvány - Hulladékból kinyert szilárd tüzelőanyagok, előírások és osztályok alapján minősítésre kerül. Ez a szabvány a korábbi MSZ EN 15359:2012 szabványt váltotta. A szabvány mellékletei egyrészt a vizsgálatokra nyújtanak útmutatást („A” melléklet), másrészt az előállítás során alkalmazott technológiára, technológiai lépéseket mutatja be („B” melléklet), valamint a termék osztályba sorolásának formáját adja meg („C” melléklet).

Az SRF vizsgálatok fő célja, hogy információt adjanak a lehetséges felhasználónak a felhasználhatósággal kapcsolatban, valamint az átvevők engedélyének való megfelelést alátámasztják, melyek általában szerződésben kerülnek rögzítésre. A fent említett vizsgálatok és általuk történő osztályba sorolás (3.1. táblázat, SRF osztályok) segíti azonosítani az anyag minőségét.

3.1. táblázat: SRF osztályok

osztályozási jellemző	statisztikai mérőszám	Egység	Osztályok				
			1	2	3	4	5
nettó fűtőérték	átlag	MJ/kg	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
Klór (Cl)	átlag	tömeg %	≤0,2	≤0,6	≤1,0	≤1,5	≤3,0
Higany (Hg)	medián	mg/MJ	≤0,02	≤0,03	≤0,05	≤0,10	≤0,15
	80. percentilis	mg/MJ	≤0,04	≤0,06	≤0,10	≤0,20	≤0,30

A vizsgálatok arra is alkalmasak, hogy nyomon kövessük az alapanyagok hatását a késztermékre, így tájékoztatást tudnak adni az esetlegesen szükséges technológiai módosításokhoz (pl. további szeparációs lépések beiktatása, felesleges lépések elhagyása stb.).

SRF vizsgálatok esetében a további vizsgálatok is történnek, ezek azonban már nem az osztályba soroláshoz kapcsolódnak (3.2. táblázat).

3.2. táblázat: SRF jellemzés további vizsgálatai (példa). Forrás Biokör Kft.

nedvesség tartalom (m/m% eredeti)	3,67	MSZ EN 15414-3 :2011 (visszavont szabvány)
Hamutartalom (m/m %)	5,08	MSZ EN 15216:2008(visszavont szabvány)
arzén (mg /kg sz.a.)	<5,0	MSZ EN 15411:2012
kadmium (mg /kg sz.a.)	<0,5	MSZ EN 15411:2012
króm (mg /kg sz.a.)	<1,0	MSZ EN 15411:2012
réz (mg /kg sz.a.)	49,5	MSZ EN 15411:2012
nikkel (mg /kg sz.a.)	6,4	MSZ EN 15411:2012
ólom (mg /kg sz.a.)	12,5	MSZ EN 15411:2012
antimon (mg/kg sz.a.)	3,4	MSZ EN 15411:2012
Kobalt (mg/kg sz.a.)	<0,5	MSZ EN 15411:2012
mangán (mg/kg sz.a.)	6,9	MSZ EN 15411:2012
Higany (mg/kg sz.a.)	<0,01	MSZ 21978-21:1987 (visszavont szabvány)
Tallium (mg/kg sz.a.)	<5,0	MSZ EN 15411:2012
Vanádium (mg/kg sz.a.)	0,5	MSZ EN 15411:2012
összes Nehézfémet (mg/kg sz.a.)	75,5	MSZ EN 15411:2012
Fűtőérték (MJ/kg er.a.) (E)	24,8	DIN 51900-1:2000 15. fejezet
Klór (m/m% sz.a.) (E)	1,04	MSZ EN 14582:2007 (visszavont szabvány)

A létesítmények vizsgálatainál a szállítás távolsága, valamint a „kapudíj” vagy tüzelőanyag ár határozza meg, hogy mely hasznosítómű igényeivel kell számolni. Ez az iparág mindenkori gazdasági helyzetétől függ. A szoba jöhető partnerek igényeinek a felmérése ennek megfelelően tud megtörténni.

Cementipari igények

A cementgyártás során az alternatív tüzelőanyag feladásának kettő lehetősége van:

- Elő-kalcinátoros feladás
- Főégős feladás - befúvással

A két tüzelőanyag elvárt minőségi paraméterei jelentősen eltérnek.

„Kalcinátoros” anyagminőség

Feladási pont

Fűtőérték lehetséges

14-20 MJ/kg értéktől

Mérettartomány	50-70 mm
Klórtartalom	akár 1.5% (klór bypass rendszer okán)
Nedvességtartalom	nem haladja meg a 20%-ot
Alak	túlnyomó részt három dimenziós („3D”) főként középnehéz anyag

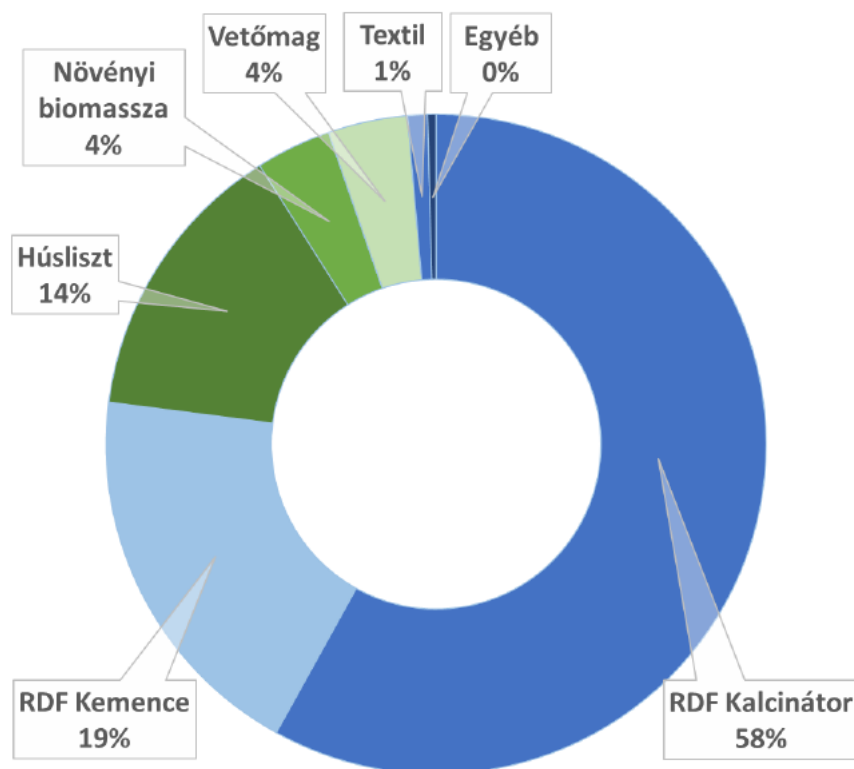
„Főégős” anyagminőség

Feladási pont	Forgókemencébe
Fűtőérték lehetséges	22-30 MJ/kg értéktől
Mérettartomány	25-30 mm
Klórtartalom	maximum 0,6%
Nedvességtartalom	nem haladja meg a 8%-ot
Alak	túlnyomó részt kétdimenziós („2D”) főként fóliás anyag

A cementipari felhasználás esetén az alternatív tüzelőanyag felhasználás elérheti a 100%-ot [Mokrzycki, E., 2003] Az égés során keletkező hamu (tapasztalati értékek alapján 4-7%) beépül a klinkerbe, ez által anyagában történő hulladékhasznosítás is történik.

Környezeti szempontból is bizonyított, hogy a szénhidrogének helyett az RDF/SRF cementkemencében történő felhasználása környezeti előnyökkel jár az üvegházhatású gázok kibocsátásának, a savasodásnak, a nyári szmognak és a rákkeltő kockázatnak a csökkentésében. és a hulladéklerakási költségeket. Az RDF gyártása és felhasználása pénzügyi hasznot is eredményezhet a társadalom számára [Reza, B., 2013].

Egy hazai modern cementgyárban jellemzően magas a másodlagos tüzelőanyag felhasználása. Az arányokat a 3.1. ábra szemlélteti:



3.1. ábra Cementgyár tüzelőanyagigényének fedezete

Forrás: Duna-Dráva Cement Kft - előadás

Erőművi igények

Az eredetileg alkalmazott tüzelőanyag fekete, vagy barnaköszén, tőzeg, vagy egyéb biomassza. Az erőművek esetén a felhasználás a fő tüzelőanyag mellett kisebb arányban (5-8%) kerül feladásra, ennek mennyisége az Európai Befektetési bank projektjének keretében végzett kutatások szerint átlagosan visszacirkulált fluidágyas (circulating fluidized bed CFB) technológia esetén a fő tüzelőanyag RDF/SRF-el történő kiváltása 2.2% és 10% tömegszázalék között mozog. Hosszú távon az előrejelzések szerint az RDF a tüzelőanyag-keverék átlagos használata körülbelül 3-5 tömeg%-át fogja kitenni az ilyen létesítményekben [European Investment Bank, 2024]. Az égési maradék az erőművi hamuba kerül bele. A Bakonyi Erőmű Zrt-vel folytatott megbeszélés alapján az elvárt anyagminőség a következő:

„Erőművi” anyagminőség

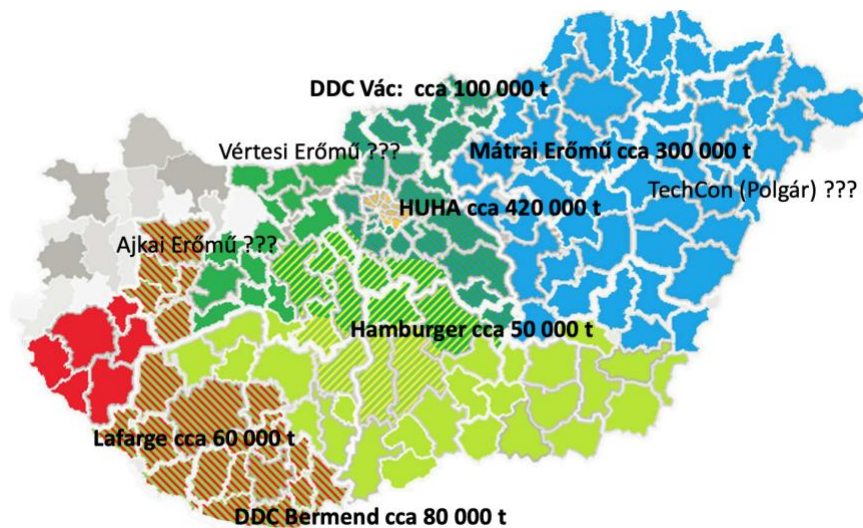
Feladási pont	Fluidágyas kemence
Fűtőérték lehetséges	12-16 MJ/kg értéktől
Mérettartomány	70-90 mm

Klórtartalom	maximum 1,0%
Alak	túlnyomó részt három dimenziós („3D”) főként középnehéz anyag
Nedvességtartalom	nem haladja meg a 20%-ot

A papírgyárak esetében jellemzően az erőművi igényeknek megfelelő „Waste to Energy” (WtE) tüzelőberendezések kiépítése történt meg. A Hamburger Hungária Kft. szakmai vezetőjével való egyeztetésnek megfelelően az energiaelőállításához a saját termelésből keletkező papír pulper (HAK 030307) hasznosításával párhuzamosan képesek átvenni alternatív tüzelőanyagot a hazai erőművi igényeknek megfelelő paraméterek mellett.

3.1.2. Hazai átvevői kapacitások felmérése

Hazai felhasználói kapacitásokat szükséges figyelembe venni a rendszer tervezésekor (illetve országos szinten azok elhelyezkedése is fontos tényező). Ezen kapacitások az alább (3.2. ábra) kerülnek bemutatásra a vizsgálat során a tervezett további kapacitásokhoz érték nem került hozzárendelésre.



3.2. ábra: Hazai SRF/RDF felhasználási kapacitások

Forrás: ZIP magazin 2015. január – február – Bocskay Balázs

Bemenő anyagáram a regionális vegyesen gyűjtött lakossági települési szilárd hulladék (TSZH). Az Észak-Balaton térség tervezett létesítményének a közszolgáltató által kötelezően ellátandó igényeket kell kiszolgálni. A tervezéshez felhasznált adatok:

- 158 település lakosai és intézményei
- átlagos évi 120.000 tonna/év hulladék TSZH
- minél magasabb arányú, megfelelő minőségű RDF/SRF termelés
- cementgyári és erőművi igények együttes jelenléte
- anyagában történő anyagok leválasztása hasznosítási céllal (mágnesezhető és nem mágnesezhető fémek)
- anyagában hasznosítható anyagok leválasztása tüzelőanyag minőségi kritériumaihoz igazodóan (zavaró anyag leválasztása – főként PVC)

3.1.3. Rendelkezésre álló technológiai berendezések, technológiai lépések felmérése

Az átlagos lakossági bemenő anyagok vizsgálata alapján az alábbi technológiai lépéseket tekintettem át, illetve vizsgáltam a jelenleg elérhető technológiai berendezéseket:

- előaprítás – előaprító berendezés

A lakossági beérkező hulladékok szemrevételezéssel való vizsgálata és a szakértőkkel folytatott egyeztetés alapján a hulladékok közel teljes mennyisége hulladékgyűjtő zsákokban érkezik be. Ahhoz, hogy az anyag válogatása megtörténhessen a hulladék feltárása szükséges. A technológiai berendezések optimális mérettartomány mellett üzemeltethetők.

- mágnés – vasleválasztás

A technológia védelme érdekében fontos, hogy a már feltárt hulladékban esetlegesen előforduló a technológiai műveletekben (főként a hulladék mozgását igénylő szeparációs műveleteknél) műszaki kockázatot okozó anyagok leválasztása minél hamarabb meg tudjon történni. A vashulladék hasznosítói háttérpára által a kereslet magas.

- rostálás – biológiailag stabilizálható frakció

Vizsgálati eredmények megerősítették, hogy az hazai TSZH-ből előaprított rostált hulladék 80 mm alatti frakciója tartalmazza a biológiailag stabilizálható anyagok több mint 90%-át. Ennek megfelelően a terveztem a rendszerbe a leválasztást.

- légosztályzó

A lakossági vegyes hulladék 80mm feletti mérettartományában tovább nem hasznosítható anyagok, főként inert anyagok (beton, kő, porcelán, egyéb fajlagosan nehéz anyag) található, melyek nem alkalmasak a tervezett tüzelőanyag előállítására. Ezen anyagok leválasztása történik meg a légosztályzó segítségével.

Az általam tervezett rendszer egyedisége az, hogy a felmért cementgyári és erőművi igények rugalmas kiszolgálása tudjon megtörténni. Ennek megfelelően választottam 3 frakciós NIHOT típusú berendezést. Ennek különlegessége abban rejlik, hogy a megfelelő beállításokkal biztosítani tudtuk a cementgyári és erőművi igényeket egy berendezéssel. A főként 2D anyagot tartalmazó „könnyűfrakció”, valamint a főként 3D anyagot tartalmazó középnehéz frakció leválasztása biztosítható a berendezéssel.

- alumínium leválasztás - örvényáramú szeparátor

A lakossági hulladékban a rendszer tervezésekor és jelenleg is még számottevő mennyiségben fordul elő nem mágnesezhető fém, főként alumínium. Ennek az anyagnak az hasznosítói háttérpára szintén megoldott, a kereslet magas.

- optikai válogatás – Közeli infravörös (NIR) szeparátor

Az optikai válogató berendezés anyagtipusok azonosítását képes elvégezni. A gépben rendelkezésre álló spektrumkönyvtárból kiválasztva lehet az adott műanyag típust leválogatni. A hulladékok termikus hasznosításakor cél az égetéskor igen korrozív PVC, illetve egyéb klór tartalmú hulladékok leválogatása a tüzelőanyagból.

- utóaprítás – utóaprító berendezés

A rugalmas kiszolgálás érdekében olyan nagyteljesítményű aprítóberendezés szükséges, melyben a rosták cserélésével biztosítható a vevői igényeknek megfelelő aprítási méret.

- bálázás – bálázó berendezés

Az anyagok logisztikai szempontból bála formájában a legkönnyebben kezelhetőek. Bizonyos mérettartomány alatt azonban a bálázás nehézkes. Sok esetben van még lehetőség a bálák fóliával történő beburkolására, ami a bála kezelhetőségét, élettartamát növelheti, illetve megóvjja a nemkívánt nedvesedéstől.

3.2. TSZH „B” frakcióból nyerhető SRF vizsgálatai módszerei

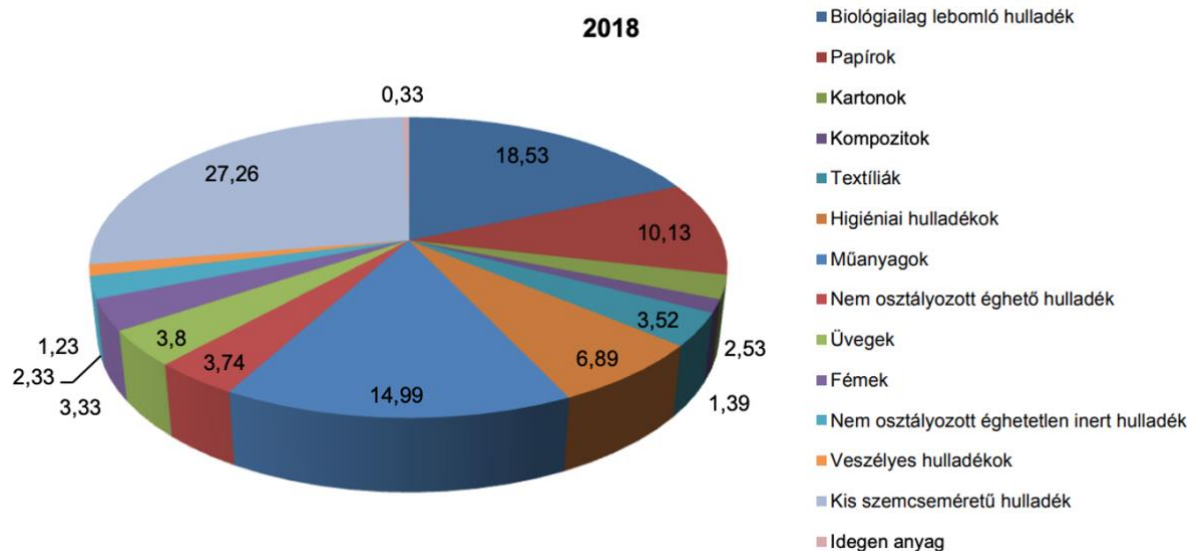
3.2.1. TSZH „B” frakció várható mennyiségének vizsgálata

A TSZH vonatkozásában az elmúlt évtizedekben jelentős hazai tapasztalatszerzés történt. A különféle MBH üzemekben történő hulladékkezelési és hasznosítási technológiák számos szempontból hasonlóak. A fő előkezelő lépéseket (előaprítás és mágnesezhető fém leválasztása) követően vagy részben, vagy egészben biológiai (főként aerob rendszerekben) módszerekkel történik a hulladék kezelése. A szerves frakció leválasztása mindkét esetben mechanikusan (rostálás) történik, jellemzően 5-8 cm alatti mérettartományt alkalmazva, majd az leggyakrabban aerob stabilizáláson esik át. [Malinowski, M. 2022].

Az ezt követő stabilizálási folyamat általában 3-5 hetet vesz igénybe irányított technológiával. A stabilizálást követően ez a hulladékáram – az érés során tömegvesztést elszenvedve – jelenleg általában lerakóra kerül.

Az új irányelvek (99/31/EK) megfogalmazott céljai között szerepel a lerakás 10% alá történő visszaszorítása 2035-ig, amellyel a körforgásos gazdasági modell erősítése érhető el.

Átfogó hulladék analízis alapján jelentős a vegyesen gyűjtött hulladékok – „fekete kukás” gyűjtés – esetében a biológiailag bontható frakció az Országos Hulladékgazdálkodási terv 2018. felmérése szerint (3.3. ábra)



3.3. ábra Hulladékösszetétel

Forrás: Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2021-2027

A kutatásaim alapján jelentős az ebben a lépésben leválasztott „B” hulladékfrakció mennyisége. A leválasztott szerves frakció a teljes bejövő anyagmennyiség akár 40-48%-a is lehet [Nanda, S., 2021]. Ezt támasztja alá egy hazai MBH hulladékkezelőben mért éves anyagáramai az alábbiak szerint alakulnak (3.3. táblázat):

3.3. táblázat: MBH hulladékkezelő negyedéves anyagáramai. (Forrás: Délkom Nonprofit Kft.)

		gyűjtött 200301 kg	leválasztott fém kg	leválasztott RDF kg	nem hasznosítható maradék kg	ebből biostabilizált kg	technológiai vesztesség %
2018	összesen	96 082 169	1 835 648	34 214 067	53 276 156	38 675 429	7%
	Q1	21 562 146	532 400	7 762 760	13 266 486	12 526 625	0%
	Q2	24 732 494	436 887	8 666 220	13 559 931	10 348 044	8%
	Q3	25 965 565	434 791	9 096 093	13 685 326	8 545 550	11%
	Q4	23 821 964	431 570	8 688 994	12 764 413	7 255 210	8%
2019	összesen	96 559 050	2 009 056	31 763 913	59 376 155	35 986 105	4%
	Q1	22 228 600	510 928	7 141 478	13 565 901	8 981 005	5%
	Q2	23 979 290	529 123	7 452 422	15 808 300	9 606 440	1%
	Q3	26 201 380	469 600	8 278 765	16 356 672	8 415 120	4%
	Q4	24 149 780	499 405	8 891 248	13 645 282	8 983 540	5%

Látható, hogy az üzemi eszközökkel leválasztott maradékanyag és biostabilát (biostabilizált anyag) aránya igen magas, melynek további hasznosításához, vizsgálataihoz kerestem módszereket, eszközöket.

A vizsgált stabilizáláson átesett hulladék (B frakció stabilát) további analízise kézi úton rostálással történik. A vizsgálatunk alapján feltételeztük, hogy jelentős – még hasznosítható – anyagot tartalmaz ez a frakció [Babu, R., 2021].

A kutatás során több potenciális hasznosíthatósági területet megvizsgáltam. Így a további energetikai hasznosításra alkalmas szilárd és folyékony frakciókat, azonban a dolgozat keretei egy választott területre, az alternatív tüzelőanyag a már stabilizált B frakció szilárd tüzelőanyag kinyerési lehetőségeire fókuszál, mivel ezzel jelentős mennyiségű hulladék eltérítése lehetséges, költséghatékony módon. Olyan megoldás kifejlesztésének a lehetőségét kerestem, ami ipari körülmények között igazolható módon alkalmazható.

3.2.2. Mintavétel és előkészítés SRF vizsgálatokhoz

A települési szilárd hulladékok vizsgálati szabvány alapján készülnek, mely hulladékok vizsgálatának módszereit írja le. Az MSZ 21420-28 és MSZ 21420-29-nek megfelelő szabványos módszer alkalmas, a TSZH mintavételére és a hulladék összetételének meghatározására a vegyesen, és az elkülönítetten gyűjtött hulladékok esetében is azok jellemzésére.

Ahhoz, hogy ipari körülményeknek megfelelő mintavétel tudjon történni, elengedhetetlen az üzemi berendezések és technológiai lépések követése, a mintavételi pont kijelölése. Az előaprítást követően a mágnesezhető fémek leválasztása történik meg a technológiában. Ez a lépés gondoskodik a dobrosta védelméről, ami a méret szerinti elválasztást hajtja végre.

Az MBH előkezelő lépését követően a hulladék 80 mm frakciója (B frakció) a mechanikai csarnokból szállító konvejjeron keresztül a biológiai kezelőcsarnokba. A kezeletlen „B” frakció mintavétele ezen a ponton történt.



3.4. ábra: Kamrafeltöltés homlokrakodóval (forrás: <https://www.compostal.hu/mbh>)

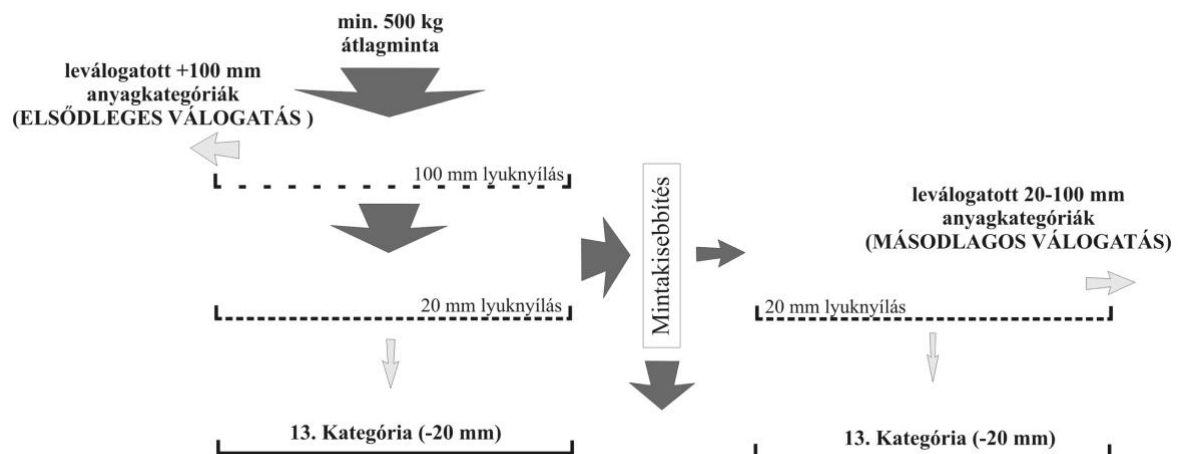
Szinten ez – a még nem stabilizált anyag – alkalmas arra, hogy elsődleges csurgalékvizet nyerjünk ki az általam tervezett és a karbantartók által elkészített hidraulikus préssel további vizsgálatokra. Az így kinyert csurgalékvízzel a Pannon Egyetem Mérnöki Kar Biomérnöki és Membrántechnológiai Kutatóintézet kollégái végeztek tudományos kutatás-fejlesztési feladatokat.

A lerostált vegyes hulladékot laza frakcióként rakodógépekkel tárolják be a biológiai csarnok 12 kamrájának egyikébe. Az automatizált folyamat 22-28 napot vesz igénybe. Ez idő alatt megtörténik az intenzív érés. A rendszer levegő befúvási és nedvesítési technológiai elemei biztosítják az biostabilizációhoz szükséges feltételeket, az előre optimalizált programnak megfelelően. Így a mikroorganizmusok megfelelő aerob feltételek mellett bontják a szerves hulladékokokat.

A különféle bomlási szakaszokat követően megtörténik a komposztálási folyamat intenzív szakasza, stabil szerves vegyületek és szervetlen ásványi anyagok keletkezése mellett. A termofil szakaszban történő hosszabb idejű tartózkodás higienizálja a frakciót, így pusztítva el a patogén mikroorganizmusokat. A 12 kamra mindegyike külön vezérelt. Az érés során egy alkalommal 10-14 napon az anyag átrakással történő átforgatása történik meg, ezzel is biztosítva a megfelelő oxigén (levegő) tartalmat a lebomlási folyamatokhoz. Ezt követően ismét egy pár napos intenzívebb (magasabb hőmérsékletű) szakasz indul. A szükséges mennyiségű

oxigén (levegő) bejuttatásáról nagy teljesítményű ventilátorok gondoskodnak, míg a nedvesítést esőztető rendszerrel lehet biztosítani a zárt silós egységekben. Az bomlási gázok elszívásáról szintén ventilátor rendszer gondoskodik. Az emissziós értékek betartása, valamint az esetleges szaghatások elkerülése érdekében biofilter került beépítésre, melyben kókuszrost felületén élő baktériumok gondoskodnak a szaghatások csökkentéséről. A baktérium törzsek elegye ismeretlen, a gyártó üzleti titka. A folyamat során keletkező csurgalékvíz a hulladéklerakóhoz épített csurgalékvízgyűjtő és -kezelő rendszerbe kerül bevezetésre. Leérett B frakció ez után vizsgálható.

A hulladékminta előkészítése a szabvány szerint az alábbiak szerint történik (3.5. ábra):



3.5. ábra: Települési szilárd hulladék minta előkészítése

Forrás: MSZ 21420 szabvány

A hulladék célzott vizsgálata érdekében a frakciók elválasztáshoz egyrészt az üzemben lévő technológiai berendezést használtam, míg szitatoros analízishez a Pannon Egyetem laboratóriumában is rendelkezésre álló félüzemi rázórostát (3.6. kép) használtam.



3.6. ábra: Rázórosta

Az anyag további elválasztására – így további összetétel vizsgálatára két módszer áll rendelkezésemre:

- kézi válogatás, melynek során az adott frakciót az általam előre meghatározott osztályokba válogattam,
- közeli infravörös tartományban (NIR) működő optikai válogató berendezéssel történő analízis és válogatás, ami a Pannon Egyetem laboratóriumában üzemel (3.7. ábra)



3.7. ábra: NIR optikai válogató

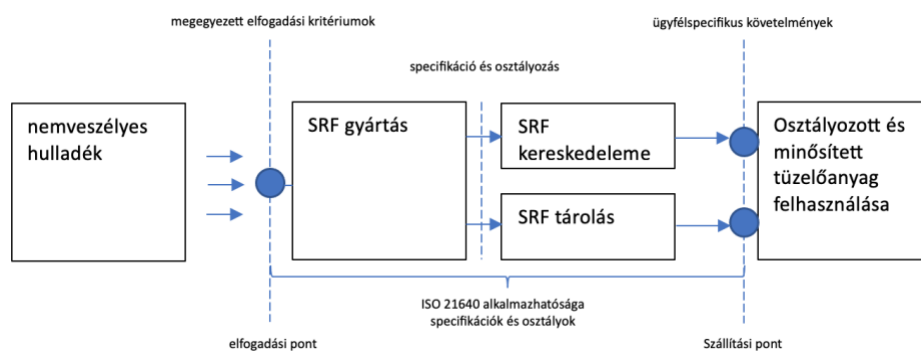
3.2.3. SRF – helyettesítő tüzelőanyag minőségi vizsgálata, osztályba sorolása

Az RDF és SRF anyag fő különbsége azok hulladékstátuszában keresendőek. Míg az RDF hulladék, addig az SRF hulladék vége minősítéssel rendelkezik. Hasznosítói szempontból

jellemezni mindkettőt az ipari gyakorlatban az SRF osztályba sorolásához alkalmazott szabvánnyal szokás, mivel a hulladékból előállított tüzelőanyagokkal kapcsolatos szabályozás a mai napig hiányos.

Az SRF minősítése az MSZ EN ISO 21640:2021 (korábban 15359:2012) „*Hulladékból kinyert szilárd tüzelőanyagok – előírások és osztályok*” szabványnak megfelelően történik. A minősítés szempontjából fontos, hogy a TSZH alapparaméterei az átvételi (jogszabályi) kritériumoknak meg kell, hogy feleljenek. A termelési folyamatoknak minőségbiztosítási rendszerrel kell, hogy rendelkezzenek, míg a vizsgálat a kész termékre kell, hogy vonatkozzon reprezentatív módon.

Fenti feltételek a vizsgált királyszentistváni MBH üzem kapcsán biztosítottak voltak, hiszen bemenő TSZH megfelel az „Egyéb települési hulladék, ideértve a kevert települési hulladékot is” HAK 200301 kategóriának, rendelkezik ISO 9001 minősítéssel, valamint akkreditált labor partnerrel. Így a szabványban rögzített módon dokumentáltan minősített SRF előállítása biztosított (3.8. ábra)



3.8. ábra: SRF előállítási lánc (szabványból)

A szabvány az SRF minősítése során osztályokat jelöli meg 3 paraméter esetében, mely egységes egyeztetési alapot tud adni a hulladékhasznosítók és a tüzelőanyag átvévők közötti megállapodáshoz (3.1 táblázat). Bár nem osztályba sorolás alapját képezi, a SRF méreteloszlása fontos technológiai paraméter a felhasználhatóság vonatkozásában.

A királyszentistváni laboratórium az alábbi mérés módszerekkel és lehetőségekkel rendelkezik:

- nedvességtartalom
- égéshő
- klórtartalom
- szemcseméret mérés szitasorral

Bár a higany mérése is része az osztályba sorolásnak, a többi paraméterhez képest ennek jelenléte a TSZH-ban – a higany termékekben történő betiltását követően – nem számottevő, az az MBH üzemben laboratóriumában nem mérhető. A nedvességtartalom, valamint az égéshő a tárolási, aprítási, rostálási, és komposztálási folyamatokon keresztül befolyásolható, míg a klórtartalom az alkalmazott közeli infravörös tartományban (NIR) üzemelő optikai válogatóberendezéssel detektálható.

Nedvességtartalom mérése

A laboratóriumban *POL EKO SLW180* típusú 180 litere (3.9. ábra) ventilátoros légkeverésű szárítószekrény található. Itt a minta nedvességtartalmának meghatározása légszárakra történő szárításával, illetve abszolút szárazra szárítással tud megtörténni.



3.9. ábra: Ventilátoros légkeverésű szárítószekrény

100-200 g minta felhasználásával történik a durva nedvesség meghatározása. Az első mérést követően a folyamat során 24 órán át 40°C-on történik a minta szárítása, amit ismételt mérés követ. A légszáraz mintát 105 fokon kell tömegállandóságig szárítani. A teljes

nedvességtartalmat a két nedvességtartalom összege adja, míg a szárazanyagtartalom a maradék minta tömege.

Égéshő mérése

Az égéshő méréséhez egy *Parr 6420 Izoperibolikus* kaloriméter (3.10. ábra) áll rendelkezésre. A készülék főbb jellemzői:

- Automatikus kosár és köpeny feltöltés, edény feltöltés és öblítés
- Automatikus hűtés
- 6-7 minta óránként
- Fix bomba cserélhető fejjel
- 0.1% pontosság
- 0.0001 °C Hőmérsékleti felbontás
- 5000 – 8000 kalória tartomány
- 0.05% linearitás
- SD memória and TCP/IP hálózati kommunikáció
- USB csatlakozó a mérleghez és nyomtatóhoz
- Internetes feltöltési lehetőség

A készülékben a minta elégetése történik meg, ez által kerül meghatározásra az égéshő. A referencia folyadék (víz) hőmérsékletváltozásából kalkulálható az égés paramétere, az anyag égési energiájának jellemzői.



3.10. ábra, Kaloriméter

Az első lépés a légszárazra történő szárítás szárítószekrényben 105°C-on. Ezt követően 50 g mintának RETSCH késes, rostás hulladékaprítóval (3.11. ábra) történik az aprítása. Az cca. 0,5-0,75mm-re aprított minta már megfelelően előkészített a mérésekhez.



3.11. ábra: Rostás hulladékaprító

Az így kapott aprított minta megfelelően előkészített a kaloriméteres, valamint a klór analízátorral történő méréshez egyaránt. Az aprított mintából 0,2 g minta kerül kaloriméterbombába betöltésre, ezt zárjuk el, hogy a minta tiszta oxigénben tudjon elégni. A generált hő melegíti fel az előtte beállított hőmérsékletű vizet, így a hőmérséklet különbségből az égéshő meghatározható. A fűtőérték számítása az (1.1) képlettel történik:

$$Q_f = Q_\varepsilon - 24,42(W + 8,94 * H)$$

, ahol

- Q_f – fűtőérték
- 24,42 – 1% (m/m) nedvességnek megfelelő korrekciós tényező 25°C mérési hőmérsékleten
- W – az elemzési minta nedvességtartalma, % (m/m)
- 8,94 – a hidrogén átszámítási tényezője vízre
- $H = 7,43$ – az elemzési minta hidrogéntartalma, % (m/m),
- Q_ε – égéshő száraz anyagra.

Ebből a képletből számítva a fűtőértéket J-ban kapjuk meg az eredményt, ezért szükséges az átváltás. Majd az eredményt korrigálni kell a kiszámolt durva nedvességtartalommal az (1.2) egyenlet alapján:

$$Q_{fn} = \frac{(Q_f * \text{száraz anyag tartalom\%})}{100}$$

Klórtartalom mérése

A klór tartalom meghatározásához Multi EA 4000 mérőműszer áll rendelkezésre (3.12. ábra). A meghatározás alapja az 1050°C-on végbemenő pirolízis, a klórmeghatározás kvarccső segítségével, (99,5%-os tisztaságú) oxigénáramban történik. A készüléket egy külső PC vezérli a hozzá tartozó szoftver segítségével.

Első lépésben mérőcella ellenőrzése történik. A coulometriás cella ellenőrzése ismert koncentrációjú és mennyiségű HCl (0,1 normális és 1 normális) oldatok vizsgálatával történik. A faktor meghatározásához az 1 normális sósav oldatot háromszor kell mérni kvarchomokkal töltött kvarc csónak kemencébe juttatásával. Minden nap szükséges a faktor értékének megadása a pontos klór érték kiszámításához. A mintát a kvarc csónakba kell tölteni és a kemencébe juttatni. Az analizátor szoftvere a mérés végén a kiértékelt eredményt adja meg.



3.12. ábra Elemanalizátor a klórtartalom méréshez

Az SRF/RDF esetében a fűtőérték meghatározása a lényeges, mely a kapott égéshő értékével számítható ki.

Az SRF/RDF vizsgálata azért lényeges, mert ezzel a módszerrel igazolható, hogy az adott anyagárammal milyen minőségű (osztályba sorolású) anyag állítható elő az adott technológiával, esetleg kiegészítő technológiával. Lényeges, hogy a valós SRF minősítés a gyártó részéről csak akkreditált laboratórium bevonásával jogszerű, azonban a kutatáshoz szükséges vizsgálatok módszerek és eszközök elvégezhetőek a cég laboratóriumi eszközei által egyaránt.

Szemcseméret eloszlás

Alapvetően az előkészítő műveletek során használt berendezések már meghatározzák a szemcseméret eloszlást. Az érési folyamatok további aprózódást eredményeznek, azonban az átvevők szempontjából lényeges végleges legnagyobb méretét a rendszerbe épített utóaprító határozza meg. Ennek megfelelően nem lehet egységes méretről és alkalmazandó aprító rosta alkalmazásról beszélni, az felhasználói igények függvénye.

A helyettesítő tüzelőanyag méretvizsgálata utólagosan az előkészítő műveletnél tárgyalt vibrációs rostálással vizsgálandó, különböző méretű szitasor alkalmazásával, majd ezt követő mérleges analízissel az esetlegesen szükséges kézi válogatással történő frakcióképzés mellett.

3.3. Betétdíjas (DRS) rendszer bevezetési lehetőségének vizsgálata – alkalmazott vizsgálati módszer

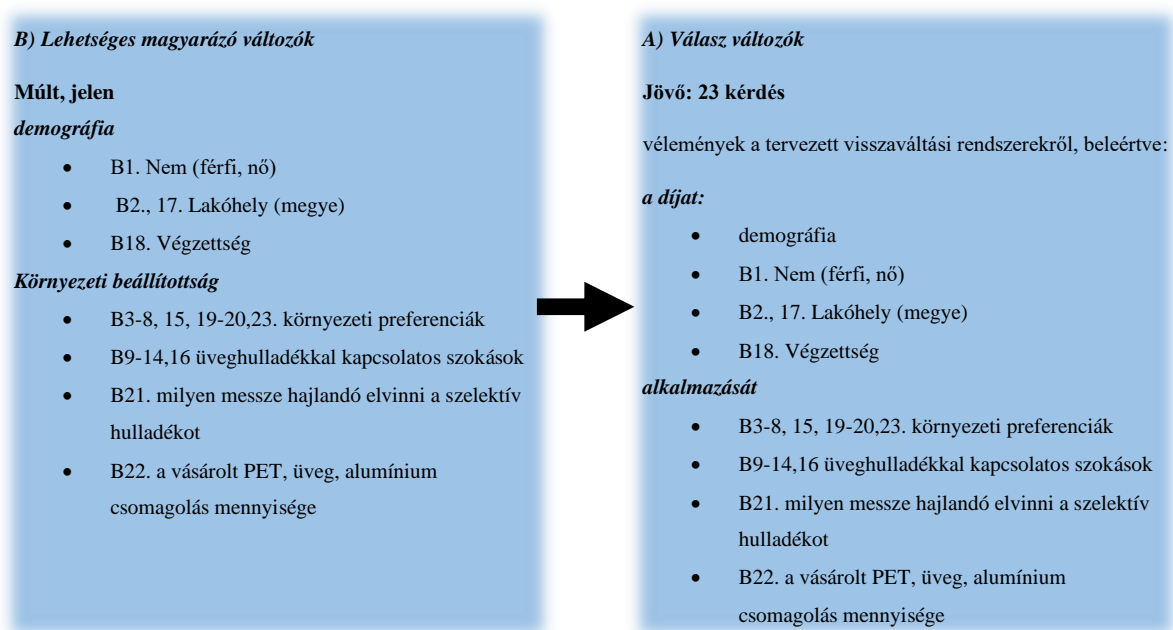
A 2018/852/EU irányelv az egyes tagállamoknak javasolja, hogy a csomagolási hulladékok újrahasznosításának növelése céljából különféle intézkedések tegyenek. Magyarország 2024. július 1-től ennek érdekében bevezette az üveg, a PET és az alumíniumdobozokra a kötelező visszaváltási rendszert (DRS). A rendszer bevezetését több felmérés előzte meg, melyben a lakossági elfogadottságát vizsgálták.

2020. nyarán egy online felmérés keretében vizsgáltuk meg a magyar lakosság hozzáállását az akkor még csak tervezett bevezetéssel kapcsolatban. A felmérés eredményeit a dolgozatban mutatom be, majd hasonlítom össze a bevezetés utáni tapasztalatokkal.

A visszaváltási rendszer lakossági elfogadottságának mérésére 2020 nyarán került sor. Az elemezni kívánt adatok egy 2020. augusztus közepétől szeptember közepéig (2020. augusztus 12-től 2020. szeptember 9-ig) 1 hónapon át végzett elsődleges kérdőíves felmérésből származnak. A kérdőív kitöltésére több online felületen, a felsőoktatási és közoktatási képzési rendszeren, valamint szakmai és hírportálokon keresztül volt lehetőség. A mintában 20 430 ember válasza szerepelt. A kérdőív 24 kérdést tartalmazott, amelyeket körülbelül 10 perc alatt lehetett kitölteni, az egyének környezeti attitűdjére vonatkozó kérdésektől a kapcsolatukon át a visszaváltási rendszerig. A kérdések üveg-, PET- és alumíniumdobozokra vonatkoztak, de nem tartalmazták a csomagoló anyagok ürmértékjét, hiszen akkor ez még nem volt elérhető. Nem volt kötelező minden kérdésre válaszolni, így az eredmények bemutatása során előfordulhat, hogy az adott kérdésre felkínált válaszlehetőségek miatt a válaszok megoszlása nem éri el a 100%-ot.

3.3.1. Kutatási modell

A 3.13. ábrán a kutatási modellt látható. Először a kérdőívben szereplő kérdéseket kerültek kategorizálásra aszerint, hogy magyarázandó indikátoroknak (amit A-val jelölünk), vagy potenciális magyarázó változóknak (amit B-vel jelölünk) tekintjük őket.



3.13. ábra: Kutatási modell (Saját szerkesztés)

Az A-val rövidített mutatók között szerepelt az a 16 kérdés, amely a PET-palackok, üvegek és alumíniumdobozok visszaváltási rendszerével kapcsolatos véleményeket mutatja be. A Válaszváltók (A) kérdéseit és válaszlehetőségeit az I. sz. melléklet tartalmazza. A B-vel rövidített lehetséges magyarázó változók 23 kérdést tartalmaztak. Ezek demográfiai kérdéseket, valamint az egyének múltbeli és jelenlegi környezeti attitűdjét tükrözik.

A Lehetséges magyarázó változók (B) kérdéseit és válaszlehetőségeit szintén az I. sz. melléklet tartalmazza). A kérdések A-val és B-vel való rövidítése és ezeken belüli számozása lett felhasználva eredmények későbbi megjelenítéséhez.

Az elemzés szempontjából (a feleletválasztós kérdések miatt) 16 változó került definiálásra, és 23 magyarázó változó (összesen 39) került be a kutatási modellbe. A kutatás célja az volt, hogy a B kérdésekre adott válaszok befolyásolják-e szignifikánsan az A kérdésekre adott válaszokat, és mennyire erős közöttük a kapcsolat.

3.3.2. Adatelemzési módszer

Kutatási módszerként leíró statisztikát és kapcsolatelemzést használtam. Mivel egyetlen kérdés sem mérhető a legmagasabb szintű (arány) skálán, más leíró statisztikák (pl. átlag, szórás) nem értelmezhetők. Azon összefüggéseket vizsgáltuk, ahol a 16 magyarázandó változó és a 23 lehetséges magyarázó változó között mérhető kapcsolat. Ez 368 db (16x23) kapcsolati tesztet jelent.

A kérdések mérési módja határozza meg, hogy milyen mutatóval lehet számszerűsíteni a köztük lévő kapcsolatot. Minden esetben a változókat nominális szinten kezelve a köztük fennálló asszociációs kapcsolatokat Cramer-féle V segítségével került vizsgálatra, 0-tól 1-ig terjedő tartományban.

A kontingenciatáblázat (vagy kombinációs táblázat) a statisztikában egy olyan, mátrix formájú táblázat, amely a változók (többváltozós) gyakorisági eloszlását mutatja. A Cramer-féle asszociációs együttható arra való, hogy amikor mindkét ismerv minőségi és rávilágítson a két ismerv közötti kapcsolat szorosságára.

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{N \cdot \min\{(r-1); (c-1)\}}}$$

Itt N= az összes elem, r = a táblázat sorainak száma és c = a táblázat oszlopainak száma, továbbá

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_{ij} - f_{ij}^*)^2}{f_{ij}^*}$$

A Cramer-mutató függvényszerű kapcsolat esetén 1, független esetén pedig 0.

Azokban az esetekben, amikor mind a vizsgált változó, mind a magyarázandó változó ordinális skálán mérhető, a rangsorbeli korreláció számszerűsítésére a Kendall tau-t alkalmazzuk, amely a -1 és 1 közötti értéket veszi fel.

A rangkorreláció vagy rangkorrelációs együttható a valószínűségi változók közötti kapcsolatot vizsgálja a korrelációhoz hasonlóan. Az összefüggést tetszőleges monoton függvény szerint képes vizsgálni, eloszlásuk vizsgálata nélkül. A korrelációval szemben a rangkorreláció nemcsak lineáris kapcsolatot tud leírni, továbbá a kilógó adatok sem zavarják. Ilyen rangkorrelációs együttható a Kendall-tau.

Minden eredményt 5%-os szignifikanciaszinten értelmezünk. Szignifikáns összefüggések esetén a mutató abszolút értéke adja meg a kapcsolat erősségét. 0,2 alatt gyenge kapcsolatról, 0,7-től erős kapcsolatról beszélhetünk, e két szám között pedig közepes kapcsolatról van szó. Mivel a Kendall tau pozitív és negatív értéket is felvehet, itt értelmezhető az előjele is, ami a kapcsolat irányát adja meg.

Ami a kutatási kérdések megválaszolásának módszerét illeti, a leíró statisztikákat és összefüggéseket elemzéseket (Cramer V és Kendall tau) alkalmaztunk a zárt válaszokra. Az eredmények azt mutatják a primer kutatás elemzése jól meghatározott irányvonalat ad a jogalkotóknak és a döntésnek készítőik, akik kidolgozzák az új rendszer részletes működési szabályait.

3.4. Hulladékkezelő technológia fejlesztése moduláris szimulátorral

A számos korábban létrehozott MBH létesítmények, továbbá a hagyományos csomagolási hulladékválogató rendszerek új kihívásokkal fognak szembesülni. A jogszabályi és abból levezethető gyűjtési rendszerek, az újonnan fejlesztett fogyasztási cikkek, csomagolóanyagok megváltozott anyagáramokat generálnak a kezelendő hulladékok vonatkozásában. Fontos a meglévő technológiák vizsgálata annak érdekében, hogy megfelelően lehessen előre jelezni a technológia alkalmasságát a megváltozott bemenetek mellett, illetve becsülni lehessen a várható kimeneteket is. Ehhez olyan eszközt szükséges fejleszteni, ami bizonyítottan alkalmas a modellezésre és a szakértői becslések alapján validálni az eredményeket.

A hulladékgazdálkodáshoz kapcsolódóan megépített rendszerek fejlesztéséhez olyan módszert kerestem, mely segítséget képes nyújtani a meglévő rendszerek vizsgálatához a megváltozott hulladékgazdálkodási tevékenységekhez és elvárásokhoz alkalmazkodva. Ezek többek között:

- DRS rendszer bevezetése.
- Hulladékszemléletű terméktervezés okán bekövetkezett csomagolóanyag-összetétel változások.
- Fogyasztói tudatosság okán beálló hulladékösszetétel változások.

A legpontosabb vizsgálatokat meglévő ipari méretű berendezések elrendezésének módosításával lehet elérni, azonban ennek gyakorlati megvalósítása reálisan nem megvalósítható, mivel ezen technológiai sorok alapvetően termelésben vesznek részt. E mellett a bemenetek változtatása ipari méretekben szintén igen nehezen biztosítható.

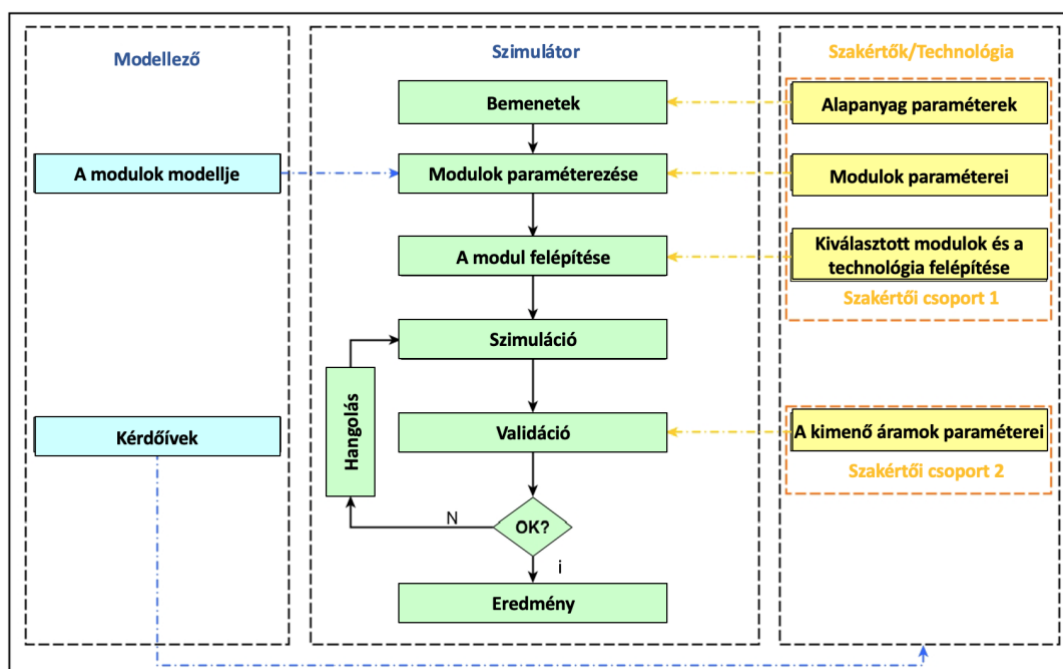
Fent leírtak okán kerestem olyan szimulációs módszert, mely kis költség mellett támogatást tud nyújtani a változások vizsgálatára. A célom egy olyan modellezési és szimulációs megoldás kidolgozása volt, amely képes integrálni az összes rendelkezésre álló információt, és képes kezelni a mérések bizonytalanságát is. A hulladékkezelési technológiák fő nehézsége, hogy nagyon kevés méréssel rendelkeznek; tehát a belőlük nyerhető adatok nagyfokú bizonytalansággal bírnak. A modellezéshez használt fő paraméter az egységek hatékonysága, amelyet szakértői információk alapján határoznak meg. Mivel a szakemberek

csak becslésekkel tudtak szolgálni, a belőlük kapott adatokat egységes eloszlással közelítettük, az adatokat összesítettük, és ezeket az összesített eloszlásokat használtuk fel a szimulációkban.

3.4.1. A modell felépítésének lépései

A választott modellhez adatgyűjtő típus kérdőíveket készítettem berendezésenként és berendezés típusonként. A kérdések köre kiterjedtebb volt a további kutatási lehetőségek érdekében. A hulladékválogatási gépsor minden technológiai lépése (egységek, gépek) modulként kerültek leírásra, majd ezek a modulok egy modellbe kerültek integrálásra. A megtervezett modell rugalmassága lehetővé teszi a különböző kritériumok és mérési bemenetek igazítását az iparági igények és adatok szerint. Ezzel az eszközzel támogathatóvá válik a virtuális tervezés és méretezés, valamint a meglévő technológiákkal való megfeleltethetőség valós lehetőség lesz.

Az információk elsősorban üzemeltetési tapasztalatokon vagy szakértői ismereteken alapulnak, ezek a Szakértők/Technológia rovatban láthatóak. A szimulátor mezőben található a szimuláció algoritmus. A modellezési és szimulációs keretrendszer összefüggéseit az 3.14. ábra mutatja be.



3.14. ábra: Modellezési és szimulációs keretrendszer

- A modellezési blokkban először a modulokat építettem fel, valamint kérdőívezést hajtottam végre az adott berendezés és műveleti lépés kapcsán.
- A szimulációs blokkban az inputok meghatározása, a modulok paraméterezése, a modulok strukturálása és ezt követően a szimuláció történik meg. Ezt követi validálás és visszacsatolás, mely további finomhangolását generálja a szimulációnak mindaddig, amíg a validációs eredmények megfelelőek nem lesznek
- A szakértő/technológiai blokkban kell megadni az anyagok jellemzőit az egységek paramétereit, a kiválasztott modulok, valamint a technológia felépítését (1. sz. szakértői csoport), illetve a kimenetek paramétereit (2. sz. szakértői csoport).

Annak érdekében, hogy megfelelő szimulátort legyünk képesek létrehozni, az alábbi lépéseket alkalmaztam:

- Meghatároztam a technológiából, illetve szakértőktől érkező inputokat, így különösen a technológiákhoz kapcsolódó legjellemzőbb információkat (pl. alapanyagok jellemző paramétereit, a hulladékgazdálkodásban alkalmazott berendezések típusait).
- Meghatároztam az alkalmazott berendezések modelljellemezőit és modellparamétereit
- Legeneráltam a berendezések szerkezetét, ezzel egy szimulált hulladékválogatósort építettem fel, majd
- A megalkotott elméleti technológián futtattam le a szimulációt, amelyből megkaptam a kimeneti áramok paramétereit.
- Szakértők segítségével validáltam az eredményeket.

3.4.2. A hulladékválogató technológia moduljainak meghatározása

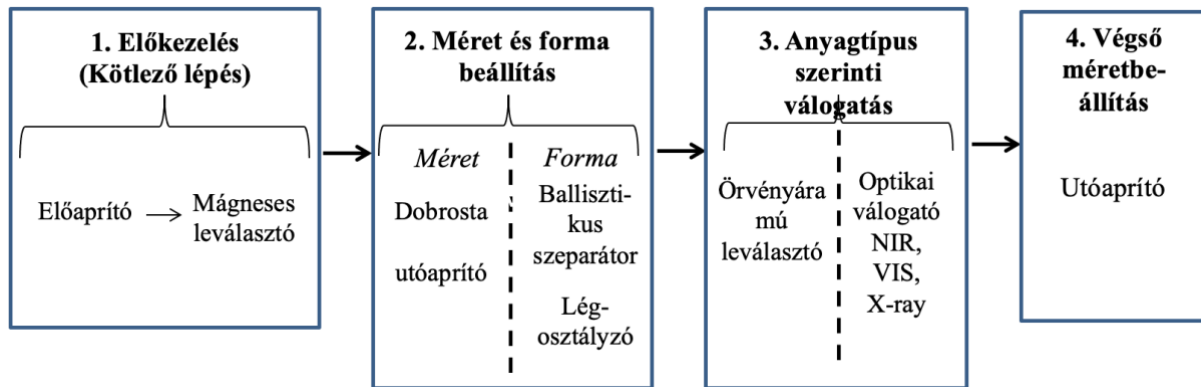
A hulladékkezelési technológiák jól meghatározott lépésekből állnak, amelyeken belül a berendezések sorrendje a céltól függően változhat.

A hulladékfeldolgozó sorok technológiai berendezései az alábbiak csoportokba esnek:

1. Előfeldolgozók;
2. Méret és forma szerinti osztályozók;
3. Anyagtípus szerinti válogatók;

4. Utó, vagy végső feldolgozók.

A 3.15. ábra a tipikus technológiai lépéseket mutatja be a hulladékkezelési technológiákban alkalmazott jellemző hulladékkezelő berendezésekkel.

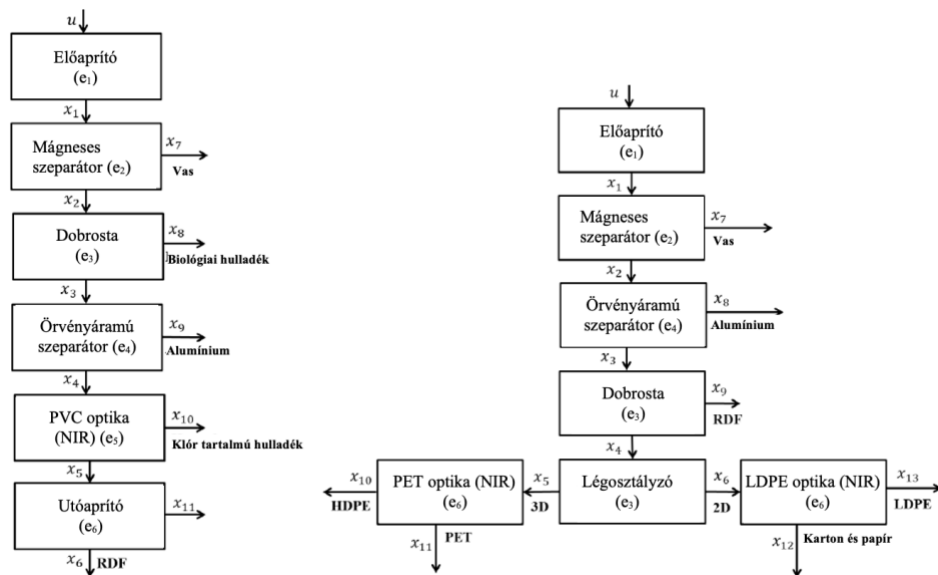


3.15. ábra: Általános technológiai lépés sorrendek

Az első lépést a hulladékkezelési technológiákban szükséges előfeltételként határoztam meg. A többi lépés tetszőlegesen alakítható a válogató technológia végső céljától függően. Az előfeldolgozás jellemzően előaprítót, vagy zsáktépőt [Pinke, M., 2019], valamint mágneses szeparátort [Dimova, T., 2020] tartalmaz. Míg az előbbi az anyag hozzáférését/feltárását és homogenizálását, utóbbi főként a további gépek védelmét – és haszonanyag kinyerését – biztosítja.

Az eszközök sorrendjét a 2. ábra szerint határoztam meg. Ezt követően a méret és forma szerint került a hulladék osztályozásra. Tipikus méret szerinti osztályozó berendezések a rosták [Moon, B. Y., 2008] és a rostás utóaprítók [David, A., 2018], míg a tipikus „alakbeállító” gépek a ballisztikus szeparátorok [Sigmund, U., 2018] és a különböző légosztályzók [Nasrullah, M., 2014]. A gépek sorrendje ebben a lépésben tetszőlegesen alakíthatóak a célnak megfelelően.

Magyarországon jellemzően kettő edényzetből történik a lakossági hulladékok elszállítása. Ennek megfelelően a 3.16. ábra két alternatív technológiát mutat be a különböző hulladékok különböző célú válogatására.



3.16. ábra: (a) Példa egy RDF előállító technológiára (b) példa egy üveg frakciót nem tartalmazó, szelektív csomagolási hulladék válogatási technológia

Az (a). ábra a települési szilárd hulladékból történő RDF előállításának technológiai sémáját mutatja be. Ezzel szemben a (b) ábra szemlélteti egy üveg frakciót nem tartalmazó, szelektív csomagolási hulladék válogatási technológiai sémáját (elterjed hazai gyűjtési forma).

A két technológiai séma azt mutatja, hogy az első két egység (előaprító és mágneses szeparátor) mindkét folyamatábrán megegyezik. Ennek ellenére a dobrosta és az örvényáramú leválasztó berendezés sorrendje eltérő. A harmadik lépésben az anyag típus válogatása történik. Örvényáramú berendezéssel lehet válogatni az anyagáramból származó nem mágnesezhető fémeket (főként alumínium) [Nagel, J. R., 2018], és különböző optikai válogatókkal a különböző anyagokat anyag típus szerint. Amint a fenti esetek is (a) és (b) mutatják, az alkalmazott optika válogató berendezések különböző anyagfajtákhoz is alkalmasak lehetnek. Az optikai elválasztók különböző spektrumokban működnek [Gülcan, E., 2018]:

- A közeli infravörös (NIR) az anyagminőség (pl. műanyagok) alapján választ el;
- A látható tartomány (VIS) a szín szerinti elválasztásra szolgál, jellemzően azonos típusú műanyagok válogatásához;
- A röntgen-spektrumot biológiailag lebontható anyagok/inert elválasztáshoz használják.

A cél az újrahasznosítható anyagok elkülönítése vagy az újrahasznosítható anyagok szennyeződésének csökkentése. A válogatógépek hatékonyságuk és eredményességük alapján

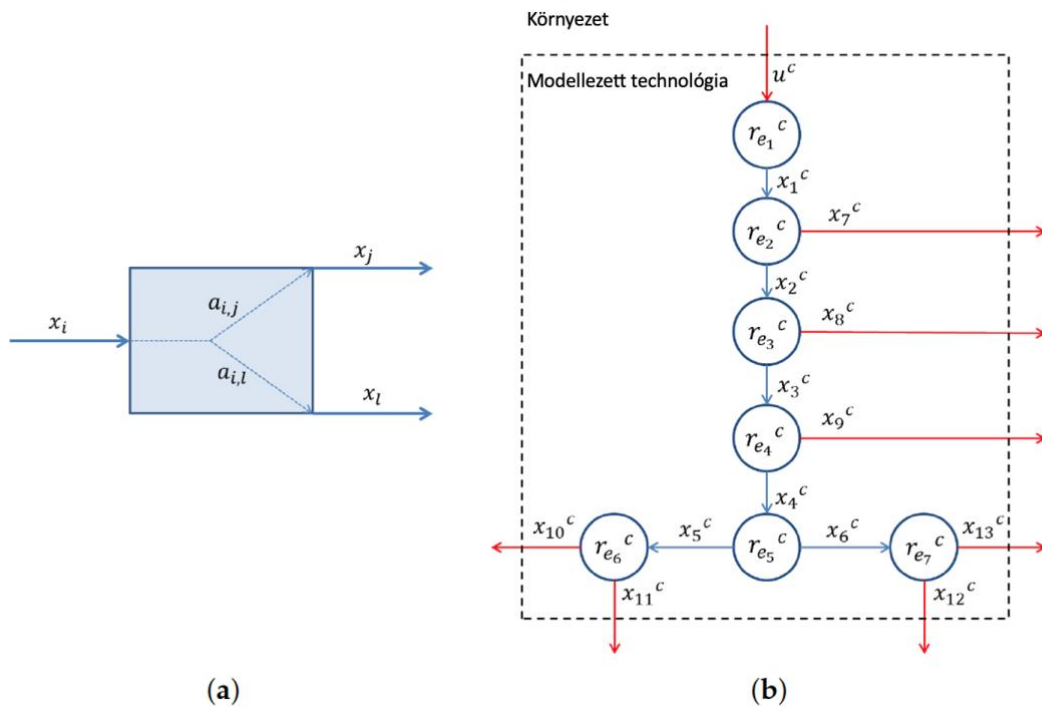
jellemezhető. A modell fejlesztése során a berendezések jellemzése ennek megfelelően történt.

3.4.3. Modulok általános modellje és a kapcsolatok modellje

A hulladékáramban lévő komponensek tömegáramának számítása a tömegmegmaradáson és a berendezés szétválasztási hatékonyságán alapul. Feltételezzük továbbá, hogy a válogatási technológia folyamatos és stacioner üzemmódban működik a modellezés és szimuláció során. Kiindulási alapunk, hogy az input hulladék csak egy ponton kerül be a válogatási technológiába. A válogatási technológiákban jellemzően egy bemenet és két kimenet található. A tipikus egy kimenettel rendelkező egységek az aprítógépek és a zsáktépők. A két kimenettel rendelkező egységek két csoportra oszthatók. Az egyik csoportba azok az egységek tartoznak, amelyek méret szerint választanak ki, például rosták. A másik csoportba azok az egységek tartoznak, amelyek anyagminőség szerint választanak el, például mágneses válogatók, vagy optikák.

A modell akkor ad érvényes eredményt, ha az egyes berendezések szétválasztási hatásfokának definíciója helyes, mivel ez modellünk alapja. Ideális esetben a modellparaméterek meghatározása megfelelő méréseken alapulna. A vizsgált technológiáknál azonban legtöbb esetben vagy nem állnak rendelkezésre mérések, vagy azok nem felhasználhatóak. Ezért sok esetben csak az üzemeltetési tapasztalatokra és szaktudásra hagyatkozhatunk. Ennek megfelelően dolgoztam ki a szakértők bevonásának kezelésére a 3.4.2. fejezetben bemutatott vonatkozó módszert (3.8. ábra).

A 3.17. ábra egy hulladékkezelési technológiai berendezés modelljének sematikus ábráját mutatja be. Az alkalmazott jelölések az ábrán a következők:



3.17. ábra: (a) Egy hulladékkezelési technológia berendezésének vázlatos ábrája. (b) A modellezett technológia és környezete sematikus diagramja a 3b. ábrán alapul a c komponens esetében. Piros nyilak, áramok elhagyják a technológiát; kék nyilak, áramok a fizikai berendezések között.

- x_i : az m -edik berendezéshez kapcsolódó hulladékáramok tömegáramát jelöli, $i = 1 \dots n$, ahol n a technológiai folyamatok száma.
- $a_{i,j}$: megadja a bemeneti áramban lévő komponensek tömegáramának azt az arányát, amely az i -edik áramból a j -edik áramba megy, $i, j = 1 \dots n$, ahol n a technológiai folyamatok száma.

A 3.17. (b). ábra a 3.16. (b). ábrán látható technológia berendezéseinek kapcsolatát mutatja. A 3.17. (b) ábrán piros nyilak jelzik a technológiát elhagyó áramokat, amelyek a környezetbe vagy a modellezés szempontjából nem releváns helyre irányulnak. A kék nyilak a fizikai berendezések közötti áramirányokat jelzik.

Az alkalmazott jelölések a 3.17. b. ábrán a következők:

- e_m : a berendezés indexét jelöli, $m = 1 \dots N$, ahol N a berendezések száma.
- r_{em} : az m -edik berendezés szétválasztási hatékonyságát jelöli. Ezt a hatékonyságot berendezésenként és alkatrészenként kell megadni.
- u : a bemenő hulladékáram tömegáramát jelöli.
- c : a hulladékáramok komponenseit jelöli, $c = 1 \dots C$, ahol C a komponensek száma.

A fenti leírásokból látható, hogy egyértelmű kapcsolat van az $a_{i,j}$, $a_{i,1}$ és r_{em} változók között, amit a következő összefüggések adnak: $a_{i,j} = r_{em}$ és $a_{i,1} = 1 - r_{em}$.

A hulladékvalógatási technológiákban a mérések jellemzően diszkrét időpontokban történnek; ezért a matematikai leírásban diszkrét idejű állapotter modellt alkalmaztunk. A modellben k és $k + 1$ a diszkrét idők, köztük Δt időlépéssel.

$$\mathbf{x}^c(k+1) = \mathbf{A}^c \mathbf{x}^c(k) + \mathbf{B}^c u^c(k).$$

ahol:

k : a diszkrét időt jelenti.

$\mathbf{x}^c(k)$: egy vektor, amely tartalmazza a c komponens tömegáramát minden áramban k időpontban: $[x^c_1(k), \dots, x^c_n(k)]^T$

\mathbf{A}^c : egy mátrix, amely $a_{i,j}$ -t tartalmaz a c komponenshez minden folyamában ($x_1 \dots x_n$). A mátrix oszlopai és sorai a folyamatokat jelentik. Az első oszlop és az első sor a bemeneti adatfolyamot jelenti, azaz az u . A mátrixelemek nullák, ha a folyamatok nem egymással kapcsolatban.

\mathbf{B}^c : olyan vektor, amelynek nemnegatív elemei a bemeneti folyamatokat jelentik $[1, 0, \dots, 0]^T$

Az \mathbf{A}^c mátrix szerkezete a 3.17. b. ábrán látható technológiához. $A^c(2, 3) = r^c_{e2}$, mert az x_1 folyam r_{e2} aránya tovább megy az x_2 folyamba. Az x_1 folyam $1 - r_{e2}$ aránya továbbmegy az x_7 folyamba az $A^c(2, 8) = 1 - r^c_{e2}$ szerint.

$$\mathbf{A}^c = \begin{bmatrix} 0 & r^c_{e1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r^c_{e2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1-r^c_{e2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r^c_{e3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1-r^c_{e3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r^c_{e4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1-r^c_{e4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & r^c_{e5} & 1-r^c_{e5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & r^c_{e6} & 1-r^c_{e6} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & r^c_{e7} & 1-r^c_{e7} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3.4.4. Monte Carlo szimuláció

A jó modell alapvető sarokköve a megfelelő modellparaméterek meghatározása. Ideális esetben megfelelő mérésekre van szükség a paraméterek meghatározásához. Az itt bemutatott technológiák esetében ez a legnehezebb feladat, mivel vagy nem végeznek méréseket, vagy ha igen, akkor is nem megfelelőek. Ezért az üzemeltetési tapasztalatokra és szaktudásra támaszkodhatunk. Ezért érdemes elgondolkodni a logikán, amely lefedi a lehetséges működési tartományt. A vizsgálat során a Monte Carlo szimulációt választottam a mérések hiánya miatti bizonytalanság csökkentésére. A modellezés és szimuláció során a legkritikusabb lépés a kidolgozott módszer szakértői általi validálása. Ehhez az adatokat szolgáltató szakértők ideális esetben függetlenek. Vizsgálatomban két független (fizikailag és időbelileg is) szakértői csoporttal dolgoztam ennek a kritériumnak a szem előtt tartásával.

A választott módszerben a következő feladatok kulcsfontosságúak a szakértők szerepét illetően: (1) Blokkok/modulok meghatározása, berendezéscsoportok kialakítása; (2) információk gyűjtése a tipikus arányokról/elválasztási arányokról; (3) struktúrák létrehozása (meglévő technológia esetén adott esetben a meglévő technológia feltérképezése); (4) a bemeneti áramok meghatározása (pl. meglévő technológiák esetén a meglévő technológia bemeneti adatai); (5) valamint fentiek alapján a szakértők megkérdezése a kimeneti áramok tekintetében (meglévő technológia esetén az üzemvezetők/üzemeltetők értékelései, akár a kalkulált adatok áttekintésével).

A input és output adatok kapcsán kérdőíves eljárást alkalmaztam. Elengedhetetlen volt, hogy független szakértői csoportokkal dolgozzak adatgyűjtés során. (az 3.18. ábrán ezek 1. szakértői csoportként és 2. szakértői csoportként láthatók) mind a modellezési, mind a validálási szakaszban.

A modellezési szakaszban a szakértői csoport tagjai külön véleményezték az egyes berendezéseket és berendezéstípusokat. Bemeneteik és kimeneteik alapján megjósolták a várható elválasztási arányok minimum, maximum értékeit. A validálási fázisban egy másik szakértői csoport adott struktúra alapján megadta a várható kimeneti áramok intervallumát (minimum-maximum).

Az intervallumokat egységes eloszlásokká alakítjuk, amelyek az MC szimuláció bemeneteivé válnak. A külön kiértékeléseket aggregálhatjuk, és ezek alapján disztribúciókat készíthetünk. Kulcsfontosságú, hogy tapasztalt szakértőkkel dolgozzunk. A validáláshoz választott szakértők függetlenek voltak a modellparaméterek beállításához használt szakértőktől. Több független szakértő bevonása volt szükséges az elfogultság elkerülése érdekében. Az érvényesítés során használt adatsorokat időlegesen el kell különíteni a többi adatsortól.

Vizsgálataimban a szakértők általában intervallumokat határoznak meg minden modellparaméterhez. Az intervallum jelenthet bizonytalanságot, de jelenthet változatosságot is, például különböző bemenő anyagokat, eltérő elválasztási hatékonyságot vagy eltérő működési módokat [Bakon, K., 2022]. A módszer előnye, hogy a szimulátorban azonnal látható a bizonytalanság hatása a kimeneti folyamatokra, ami összehasonlítható, azon érzékenységelemzés végezhető.

Az esettanulmányban a berendezések elválasztási hatékonyságának határai a szakértők előzetes tudását tükrözik. Független szimulációkat futtattam, amelyekben az egyes berendezések elválasztási hatékonyságát véletlenszám-generálással határoztam meg az egyenlet által megadott intervallumokon. Feltételeztem, hogy több szakértőtől is lehet adatokat gyűjteni. Ebben az esetben az egyes szakértőktől származó egyenletes eloszlású eloszlások összesíthetők, és az így kapott összesített eloszlásból véletlenszámot lehet generálni a szimuláció során az elválasztási hatékonyságra. A kétmintás Kolmogorov–Smirnov (K-S) tesztet arra való, hogy meg lehessen határozni az Monte Carlo szimulációk minimális számát ahhoz, hogy az eredményül kapott eloszlás független legyen a szimulációk számától. A kétmintás K–S teszt az egyik legértékesebb és legáltalánosabb nemparametrikus módszer két minta összehasonlítására, mivel érzékeny a két minta empirikus kumulatív eloszlásfüggvényeinek elhelyezkedése és alakja közötti különbségekre. A K-S tesztet nagyszámú futtatással került elvégzésre, és ezek mindegyikénél folyamatosan lett növelve a teszthez felhasznált elemek számát.

Egy szimulációban az állandósult állapot modellt oldjuk meg. A modell validálása is jelentős nehézséget jelent, mivel a hulladékkezelési technológiák nem jól mértek. Ezért ismét csak a szakértők tapasztalataira hagyatkozhatunk. A berendezések jellemzéséhez hasonlóan a szakértők csak intervallumokat tudnak meghatározni. Továbbá egyenletes eloszlást feltételezve

és az egyes szakértők által megadott intervallumokat összesítve megkapjuk az eredmények valószínűségi eloszlását:

$$F(z_i) = \frac{1}{n_E} \sum_{j=1}^{n_E} \left(\frac{1}{b_j - a_j} \right) \begin{cases} \forall x_i \in [a_j, b_j] \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases}$$

ahol F az összesített valószínűségi sűrűségfüggvény; z lehet a berendezés elválasztási hatékonysága (r) és a tömegáramok (x); $i = 1 \dots n_E$, n_E a szakértők száma; b_i és a_i pedig az i -edik szakértő által megadott intervallum maximális és minimális értéke. A modellellenőrzés célja az MC szimulációs eredmények összehasonlítása ezekkel az aggregált eloszlással. Ez az összehasonlítás numerikusan elvégezhető, esetleg fontossági mintavétellel tovább finomítható.

A módszernek az az előnye, hogy olyan esetekre is megoldást tud kínálni, amikor a validáláshoz szükséges adatok nem állnak rendelkezésre, vagyis amikor szakértői ismeretekre támaszkodunk. Természetesen ehhez a területen jártas szakértőkre van szükség, lehetőleg szerint minél többre, ami a modell hátrányát is adja, ha kevés számú szakértő áll rendelkezésre. A kidolgozott módszer optimalizálási feladatokat tesz lehetővé, akár gazdasági, akár folyamatszinten.

4. Eredmények

4.1 Mechanikai és Biológiai Hulladékkezelő létesítmény tervezése a hazai alternatív tüzelőanyagok igényeinek megfelelően

Az anyagában nem hasznosítható hulladékok igen jelentős mennyiségben keletkeznek a lakosságnál. Ezen hulladékok vonatkozásában törekedni kell a lerakástól történő eltérítésre. Ennek egyik lehetősége, hogy MBH üzemeket létesítsünk regionálisan keletkező hulladékok kezelésére.

A királyszentistváni üzem létesítése, megsemmisülése, majd az azt követő MBH üzem átépítése és üzemeltetése időszakában az Észak-Balatoni Hulladékgazdálkodási Nonprofit Kft. ügyvezetője voltam. A korábbi technológia hiányosságait ismerve fogalmaztam meg az új technológiával kapcsolatos elvárásaimat, vettem részt a tervezésben és koordináltam annak megvalósítását, próbaüzemét, majd láttam el az üzemeltetési feladatainak vezetését.

Célom egy – az akkori piaci helyzetek és várható változásokra is felkészített – modern technológiai megvalósítása volt, ami alkalmas volt a hazai hulladékhasznosítói igényeknek megfelelő anyagáramok előállítására, a lerakás minimalizálása mellett a rendelkezésekre álló korlátok (anyagi, hely és idő) mellett optimális módon.

4.1.1. A tervezés előzményei, szükségessége

Az első technológiai terv 2005-ben készült az akkori fennálló tervezői technológiai ismereteknek, a jogszabályi előírásoknak és műszaki fejlettségnek megfelelően. Az ennek a tervnek megfelelően elkészült technológia kapcsán a megvalósítás és az üzempróba során, az alábbi tapasztalatokat szereztem:

- logisztika - a régió balaton-parti területeinek szezonális csúcs időszaki mennyiségeit a fogadó és manipulációs terek, valamint a berendezések nem voltak képesek kezelni a beérkező hulladékokat, a technológiai kapacitások alulméretezettek voltak;
- robusztusság – a technológiában lévő idegenanyag leválasztásának hiányosságai géptöréseket és egyéb működési zavarokat okoztak napi szinten;

- működés – nem megfelelően megválasztott gépek és funkciók – a biológiailag aktív frakció leválasztására nem volt alkalmas a ballisztikus szeparáció a vegyes lakossági hulladék vonatkozásában, illetve csak a gép tisztítását követően igen rövid ideig, melynek fő oka a hulladék nedvessége és összetapadása okán kialakuló tömődések volt;
- egészségügyi kockázatok – a válogatandó frakció vonatkozásában a tervezett kéziválogatás közegészségügyi, valamint üzemeltetési költség oldalról is aggályos volt;
- végpont nélküli termék – utóaprítás hiányában nem volt tekintettel az átvevői igényekre, a tervezett „magas fűtőértékű” frakció alkalmatlan volt a hasznosítói átvételre;
- a „magas fűtőértékű” frakció bálázását követően a telep nem rendelkezett semmilyen bálátároló területtel, a kinti és benti tárolási és manipulációs területek igen szűkösek voltak.

A fenti problémák megoldására áttervezést kezdeményeztem, ami támogatást kapott. Az általam megfogalmazott új elvárások alapján elkészített technológiai szintű terveim – mint kiegészítő beruházás – pályázati forrást nyert el. Az általam megtervezett kiegészítés célja az alternatív tüzelőanyag gyártásának biztosítása volt.

Időközben az eredeti technológia az átadás-átvételt megelőzően tűzkárt (2011. május 10.) szenvedett. Ennek során oly mértékben károsodott, hogy reálissá vált, hogy az újjáépítés során egy teljes mértékben áttervezett technológia kerüljön beépítésre a meglévő csarnokokba a biztosítási és pályázati források összevonásával. A kialakult helyzet lehetőséget teremtett egy korszerű az adottságokhoz illeszkedő rendszer felépítésének, mely alkalmas a hasznosítói igények kielégítésére és megfelelő rugalmassággal bír az átvevői igények vonatkozásában is.

4.1.2. A tervezést befolyásoló tényezők, adottságok:

A helyreállítás és annak kiegészítő berendezésekkel történő ellátása helyett új robusztus, kompakt és flexibilis rendszer megtervezését tűztem ki célul. A meglévő területi, telek adottságok, a rendelkezésre álló infrastruktúra, a jogszabályi változások számos korlátot és adottságot jelentett, melyek közül a legfontosabbak az alábbiak:

- időközben változó gyűjtési rendszerek a jogszabályi előírásokból levezethetően – 120 és 240 literes „sárga” edényzet biztosítása a lakosságnak a háztartásoknál keletkező csomagolási hulladékhoz;
- új kapacitás meghatározás csúcsidőszakra (120.000 ezer tonna helyett arányosan nyáron 140.000, tonna télen 70.000 ezer tonna);
- telekadottságok. Elsősorban szűkös tárolási területek a bejövő hulladékok és kezelt hulladékok vonatkozásában;
- épület meglévő adottságai (kapuk elhelyezkedése, csarnok méretei, stb.);
- rendelkezésre álló elektromos teljesítmény;
- üzemeltetési tapasztalatok a korábbi technológia kapcsán;
- lehetséges hulladékhasznosítókkal történő egyeztetések az előállított hulladékáramok kapcsán;
- elérhető új technológiai berendezések (modernebb eszközök).

A kimenetekkel kapcsolatosan is új elvárások kerültek megfogalmazásra. Ezek az alábbiak:

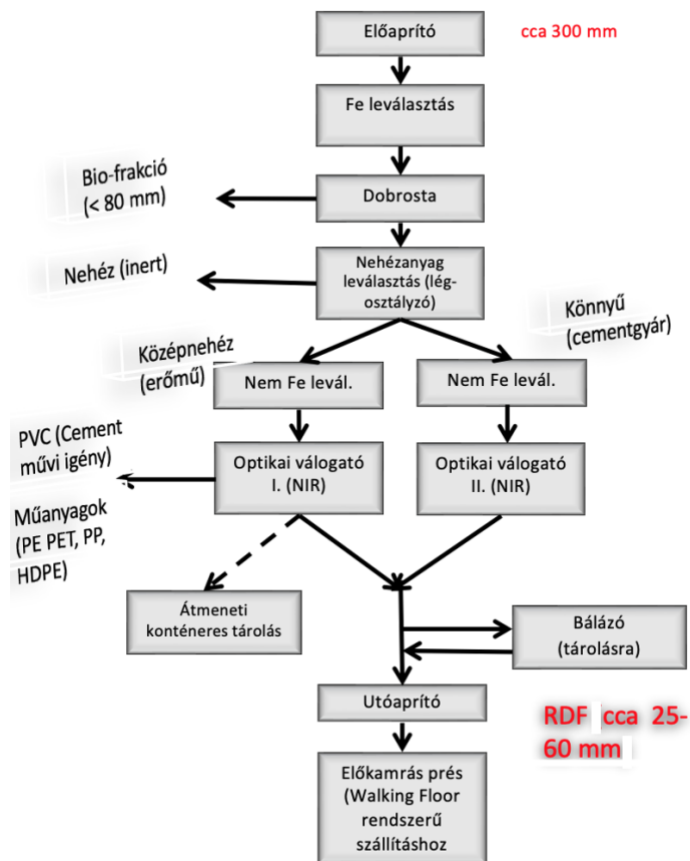
- eltömődés mentes, folyamatosan üzemeltethető elválasztása (80 mm) a biológiailag aktív frakciónak;
- különféle minőségi előírásoknak megfelelő RDF/SRF előállítás;
 - o magas fűtőértékű alternatív tüzelőanyag (főként 2D anyagból előállított) frakció – cementgyárak részére – 22-28 MJ/kg;
 - o közepes fűtőértékű alternatív tüzelőanyag (elsősorban 3D anyagból előállított) frakció – erőművek, WtE és cementgyári (előkalcinátor) részére - 14-16 MJ/kg;
- nehéz – főként inert – anyag leválasztása a gépek védelme, valamint depónia út alapanyag kinyerése érdekében;
- nem mágnesezhető fémek kinyerése – főként alumínium;
- tüzelőanyag minőségi paramétereinek biztosítása érdekében klór tartalmú anyagok (főként PVC) leválasztása;
- megfelelő szemcseméret biztosítása;
- mozgópadlós gépjárművel történő ömlesztett tüzelőanyag tárolásának és szállításának biztosítása;
- nagyfokú rugalmasság a technológiai soron, feladási és elvételi pontok, anyagok külön tartása, összekeverése, anyagok bálázása, vagy visszabontása stb.).

A kimenetek kapcsolatos új elvárások, valamint a korábbi üzemeltetési tapasztalatok okán az alább berendezések technológiába történő beépítését választottam:

- kefék rendszerrel tisztított dobroszta a ballisztikus szeparátor helyett;
- az országban akkor még egyedülálló három frakciós légosztályzó berendezés, mely alkalmas magas és közepes fűtőértékű anyag előállítására egyidőben, továbbá biztosítja a nehéz inert anyag leválasztását;
- a könnyű és közepes (magas és közepes fűtőértékű) anyagáramokra egyaránt (ezáltal külön beállítható) örvényáramú szeparátor;
- további mágnes (szalagba épített dobmágnes) védelem az utóaprító védelme érdekében
- cserélhető lyukméretű rostával rendelkező utóaprító a megfelelő szemcseméret elérése érdekében a:
 - o 25-35 mm cementipari felhasználáshoz;
 - o 50-70 mm erőművi felhasználáshoz;
- süllyesztett szalagos feladás, mozgatható szalagpozíciók kitérő és feladó garatok kialakítása az igényekhez illeszkedően;
- előkamrás prés alkalmas a folyamatos, megfelelő tömörségű ömlesztett tüzelőanyag betárolására mozgópaddalós gépjárműbe. A megfelelően méretezett garat biztonságos pótkocsi cserét képes biztosítani folyamatos gyártás mellett.

4.1.3. Az MBH technológia fejlesztésének eredménye

A választott berendezések elhelyezése során törekedtem a meglévő csarnok adottságainak kihasználásra. Ennek megfelelően a megváltoztattam a fogadócsarnokban az előaprító berendezés helyét, ezzel biztosítva teret az újonnan beépítésre került dobroszta számára. A korábban kézíválogatóhoz kialakított süllyesztett szalag köré fűztem fel a teljes technológiát kihasználva annak pozitív adottságait (II. sz. melléklet). Több esetben az egy nagy berendezés helyett azonos funkciójú párhuzamosan elhelyezett (duplikált) berendezést választottam üzembiztonsági céllal. A logisztikai negatív adottságokat (tárolási és rakodási korlátok) csarnokon belüli előkamrás prés elhelyezésével kompenzáltam. A végleges technológiát a 4.1 ábra mutatja.



4.1. ábra: MBH technológia Királyszentistván (saját szerkesztés)

- A próbaüzemi tapasztalatok alapján az általam tervezett technológia alkalmasnak bizonyult a korábban feltárt hiányosságok alapján megfogalmazott elvárások biztosítására. A rendelkezésre álló források és a beépített elektromos teljesítmény azonban korlátozták a választható berendezések méreteit, kapacitásait, ennek megfelelően az új technológia oly módon volt képes eleget tenni az elvárásoknak, hogy a korábbi 2 műszakos üzemmenetet 3 műszakosra kellett váltani a nyári üzemeltetési időszakra.
- A technológia képes kielégíteni a régióban keletkező lakossági vegyes hulladék feldolgozását 70-140.000 ezer tonna/év kapacitás mellett és kiküszöbölte a korábbi technológia hiányosságait, hátrányait és kockázatait.

4.1.4. Az új technológia további járulékos eredményei:

- Az optikai berendezés rugalmassága okán kísérletek alapján bebizonyosodott, hogy egyéb (főként PET) alapanyagú hulladékok leválasztása is lehetséges a rendszerből a közép és könnyű frakció technológiai vonalán;
- külső feladási ponton lehetővé vált kizárólag utóaprítási tevékenység, ez által az akár nem lakossági (ipari, kereskedelmi) hulladékok veszteség nélküli kezelése;
- nehéz anyag kinyeréssel biztosított a depóműveléshez szükséges frakció biztosítása depóútépítési alapanyagként;
- a minőségbiztosítási rendszerrel folyamatosan történő gyártás és megépített saját labor az országban elsőként lehetővé tette az end-of-waste státusz biztosítását, így a tüzelőanyag már termékként is forgalomba kerülhetett (SRF);
- a közvetlen mozgópadló pótkocsiba történő tárolás – megfelelő darabszámú pótkocsi esetén – biztosítani képes a tüzelőanyag tárolási és logisztikai feladatait a létesítmény területén.

4.2. Biológiailag aktív („B”) frakció hasznosítása, használati mintaoltalom megszerzése

A lerakóra kerülő hulladékok csökkentése, valamint az eltérített hulladékok hasznosításában rejlő lehetőségek vizsgálata szempontjából jelentős az MBH rendszerekben leválasztott biológiailag aktív („B”) frakció további kezelése. Vizsgálataink alapján a kezelendő frakció mennyisége a beérkező vegyesen gyűjtött TSZH több mint 50%-a.

4.2.1. „B” frakció összetevőiben rejlő hulladékhasznosítási potenciálok

A vizsgálatokat az Észak-Balatonai Hulladékgazdálkodási Nonprofit Kft királyszentistváni MBH telepén végeztem. A MBH létesítménybe érkező hulladék, illetve ennek biológiai kezelésre kerülő hulladék összetételének analízise megfelelő kiindulási alapot tudott szolgáltatni a további kutatásaimhoz. A vizsgálathoz és lehetőségek feltárásához alapul az 4.1. táblázatban a telephelyre beérkező hulladékok analízisét használtam, ami egy év átlagos (12 minta) eredményeit tartalmazta

4.1. táblázat: Beérkező kommunális hulladék éves átlagos összetétele (Forrás: Királyszentistváni MBH labor)

2015. Beérkező kommunális hulladék átlagos összetétele			
Megnevezés	Mennyiség	M.e.	%-ban
Ételmaradék	5,07	kg	25,36
Egyéb/Biológiai	0,90	kg	4,52
Σszerves ételmar.	5,98	kg	29,88
Papír	2,49	kg	12,44
Fa/Lomb	0,48	kg	2,41
Rongy	1,18	kg	5,90
Földsz.	0,41	kg	2,05
Σszerves egyéb	4,56	kg	22,80
Kompozit	1,68	kg	8,39
Fólia	1,45	kg	7,25
Műanyag/PE	1,37	kg	6,87
Higiéniai/pelus	0,99	kg	4,95
PUR/Gumi	0,15	kg	0,75
Σműanyag	5,64	kg	28,22
Építési hulladék	0,19	kg	0,94
Üveg	1,21	kg	6,07
Σnem lebomló	1,40	kg	7,01
Vas/Fém	0,46	kg	2,28
Elem	0,02	kg	0,08
Σfémek	0,47	kg	2,36
Össz.menny.	18,05	kg	90,27
2015. összetétel összesítő			
Megnevezés	Mennyiség	M.e.	%
Σszerves lebomló	10,54	kg	52,68
Σműanyag	5,64	kg	28,22
Σnem lebomló	1,40	kg	7,01
Σfémek	0,47	kg	2,36

A táblázatból látható, hogy a telepre beérkező TSZH 50% (52,68%) felett tartalmaz szerves anyagot. A technológiába beépített 80mm-es rosta segítségével történik a biológiai kezelésre kerülő („B”) frakció leválasztása. A biológiai kezeléshez leválasztásra kerülő „B” frakció elválasztási határa iparági tapasztalatokon nyugszik. Tapasztalatok alapján TSZH 300-350mm-es előaprítását követően a biológiailag aktív hulladékok jelentős hányada a 80 mm alatti mérettartományban dúsulnak.

A lehetséges hasznosítási irányok vizsgálatának érdekében szükséges volt vizsgálni a biostabilizálásra kerülő, illetve az azon átesett frakció összetételét.

A biológiai kezelőcsarnokba átkerülő 80mm-es rostával leválasztott anyag összetételvizsgálata kézi válogatással történt. A kisebb, a válogatást már nem lehetővé tevő mérettartományt 20 mm-ben állapítottam meg. A 20 mm-nél kisebb frakcióban elhanyagolható (nem válogatható, mérhető) volt a műanyag frakció aránya. Ennek megfelelően készült az éves átlagos (havi mintán alapuló) analízis, melynek eredményeit a 4.2. táblázat tartalmazza.

4.2. táblázat: Biológiai kezelőcsarnokba bekerülő 80mm alatti anyag 300g éves átlagos mintákkal (Forrás: Királyszentistváni MBH labor)

Biostabilizálásra követő hulladékanalízis		
20mm feletti		
	mennyiség (g)	%
Papír (RDF)	42	14
fa/lomb	68	22,7
Rongy (RDF)	3	1
egyéb szerves	75	25
Műanyag (RDF)	9	3
fólia (RDF)	5	1,6
higiéniás	3	1
Kompozit (RDF)	20	6,7
kő	9	3
üveg	6	2
fém	10	3,3
20mm alatti		
föld	50	16,7

A „B” frakció analízise azt mutatta, hogy a stabilizáló technológiába átkerülő rész 20 mm feletti mérettartományban jelentős mennyiségben van jelen (26,3%) RDF előállítására alkalmas alapanyag (papír, textil, műanyagok).

A telepre beérkező TSZH 28,22%-ban tartalmaz műanyagokat, melyből 20-80mm tartományban a vizsgálatok alapján 10,9%, míg a 20mm alatti tartományba elenyésző mennyiség kerül át, így a műanyag frakció több mint harmada kerül a „B” frakcióba. Ez a műanyag (csomagolási fóliák, műszaki műanyagok stb.) frakció képes az RDF frakció égéshőjét a legjobban emelni többek között az által is, hogy nincs nedvességfelvétele. További fontos jellemzője, hogy az alacsony (80-120kg/m³) sűrűsége miatt lényeges a lerakástól történő eltérítése, ezzel hosszabbítva a lerakó élettartamát. Az eltérítés érdekében javaslatot teszek egy új, kiegészítő technológiai sor használatára az MBH technológiában.

Egy átlagos MBH technológiából kikerülő „B” frakció, a leválasztást követően intenzív aerob komposztálási eljáráson esik át. A biológiai érést követően – szezontól és hulladékösszetételtől függően – a nedvességtartalom és a térfogat jelentős mértékben csökken (üzemeltetési tapasztalatok alapján a veszteség a bemenő anyag vonatkozásában elérheti a 30%-ot is).

A biológiai kezelőkamrában történő intenzív folyamatok eredményeként a nedvesség csökkenése az anyag további mechanikai kezelését segíti, mivel az alkotók összetapadása csökken („zörgöse válik”) ez által szeparációs műveletek jobb hatásfokkal végezhetőek, a gépek eltömődésének és a hulladék gépen és szállítószalagokon történő lerakódásának veszélye minimálissá válik. Ez az üzemi alkalmazhatóság előfeltétele.

A biológiai érés során a szerves hulladékban végbemenő bomlási folyamat eredményeként a szemcseösszetétel jelentősen módosul, az anyag aprózódik, a földszerű frakció aránya nagymértékben nő (ld. x táblázat)

4.3. táblázat: A biológiai kezelés utáni éves átlagos összetétel (Forrás: Királyszentistváni MBH labor)

Biostabilizálást követő hulladékanalízis		
<i>20mm feletti</i>		
	kg	%
Papír (RDF)	0,3	6,0
Fa/lomb	0,2	4,0
Rongy (RDF)	0,4	8,0
Kompozit (RDF)	0,03	0,6
Fólia (RDF)	0,12	2,4
Műanyag/PE (RDF)	0,2	4,0
Építési hulladék	0,67	13,4
Üveg	0,04	0,8
Vas/fém	0,04	0,8
<i>20mm alatti</i>		
földszerű	3	60

A korábban (a válogathatóssági tapasztalatok alapján általam meghatározott 20mm-es elválasztási méret mellett) a várakozásnak megfelelően a földszerű anyag aránya jelentősen megnőtt, így a korábbi „egyéb szerves” anyag (80mm feletti főként konyhai hulladék) degradációja megtörtént.

A fenti folyamatok eredményeként előállt:

- egy jól elkülöníthető a depónián hasznosítható finom (20mm alatti) hulladékfrakció, ami inert anyagokat és bomlási termékeket homogén módon, nagy sűrűség (2-300 kg/m³) mellett tartalmazott;
- egy durva (20-80mm között) frakció, mely tartalmazott RDF-nek megfelelő anyagokat és inert (üveg kő porcelán) anyagokat továbbá hasznosítható fémeket.

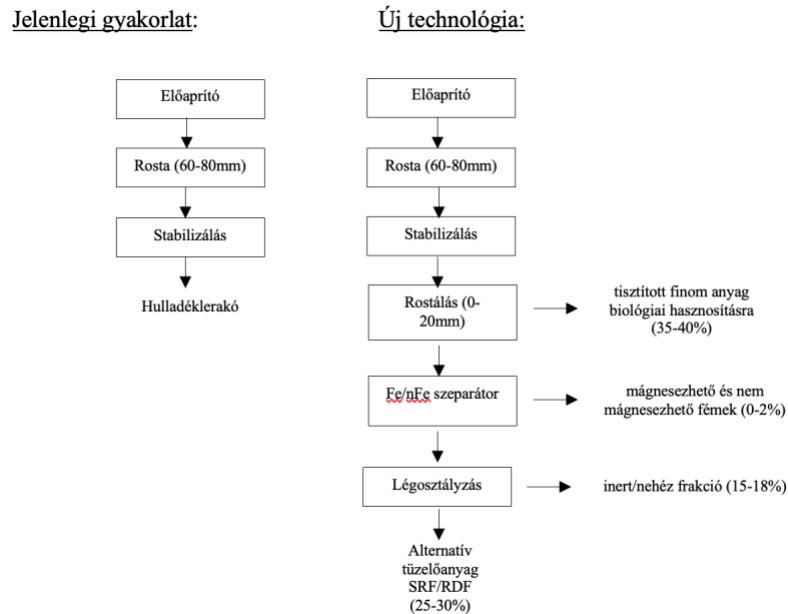
Biostabilitásban rejlő hasznosítási potenciál vizsgálata kapcsán megállapítottam, hogy:

- A földszerű anyag kiválóan alkalmas a depónián műszaki célú (takaróanyag) hasznosításra, egyéb (pl. beszállított föld) anyagok kiváltására. Az ilyen céllal elhelyezett hulladékfrakció depónián történő elhelyezése nem lerakási művelet (D5-kód), hanem hasznosítási (R10-kód), így segítve a lerakási célszámok elérését;
- a durva frakció megfelelően megválasztott szeparációs eljárásokkal anyagában-, illetve energetikailag hasznosítható értékes anyagokat tartalmaz.

Az eredményekből megállapítottam, hogy a lerakóra kerülő anyag mennyisége csökkenthető további, a B frakcióból nyerhető, alternatív tüzelőanyagnak megfelelő frakció leválasztásával.

4.2.2 Tüzelőanyag előállítási technológia B frakcióból készített stabilátból

A vizsgálati eredményeire támaszkodva megterveztem egy üzemi technológiai sort – az átvevők által elvárt minőségű – másodlagos tüzelőanyag (RDF/SRF) előállításra (4.2. ábra).



4.2. ábra: Módosított technológia (saját szerkesztés)

Célom egy folyamatosan üzemeltethető kiegészítő technológia megtervezése volt, ami ipari körülmények közt is megfelelő működést képes biztosítani, továbbá a stabilát hulladéklerakótól történő eltérítése az RDF kihozatal szignifikáns emelésével.

Az általam azonosított technológiai lépések a következők:

- Elsőként a stabilát szeparálása történik meg 0-20 mm lyukméretű dobrostával. A keletkező finom (rostaalsó) frakció biológiailag értékes tápanyagokat tartalmaz így további inputként tud szolgálni biotechnológiai felhasználásokhoz. Ezen túl alkalmas rekultivációs célokra (illetve rendelkezik 6-10 MJ/kg fűtőértékkel is).
- Második lépésben a durva (rostafelső) frakció egy kihordó szalagon egy örvényáramú szeparátorra kerül, amely 3 részre válogatja szét az anyagot: mágnesezhető fém, nem

mágnesezhető fém és az egyéb anyagok (műanyag, inert frakció). Az így leválogatott mágnesezhető és nem mágnesezhető frakció gazdaságosan hasznosítható.

- Harmadik lépésben megtörténik a műanyag, inert frakcióból a nehéz anyagok leválasztása légosztályzó berendezéssel. Ez a nehéz frakció főként inert anyagot tartalmaz, mely depóniára kerül általában (technológiai utak építésre). A könnyű frakció már ebben a formában alkalmas alternatív tüzelőanyagnak kimondottan jó tüzelési paraméterekkel (cca. 16-22 MJ/kg).
- A várt hozamok nagyságrendileg: Finom frakció 35-45%; Mágnesezhető/nem mágnesezhető fémek 0-2%; Inert frakció 15-20%, SRF/RDF (könnyű) frakció 25-30%.

4.2.3. Tesztberendezéssel elvégzett kísérlet eredményei, technológia validálása



4.3. ábra: Kísérleti technológia üzemi méretben

A 4.3. ábrán az összeállított üzemi méretű kísérleti technológia látható. A teszt során 3 anyagminőségi fázisban lévő 80mm alatti frakció került megvizsgálásra. Az elsőként vizsgált anyag 21 napos biológiai kezelést követően történt. A második vizsgálat olyan kamrából történt, ahova az anyag berakása már 1-2 napja megtörtént, de a 21 napos kezelés még nem lett elindítva. A harmadik vizsgálat esetében a 21 napos kezelés a felénél járt, így a technológia szerint átrakásra van lehetőség. A negyedik minta közvetlenül a 80mm alatti frakciót áthordó szalagról leeső anyagból, tehát a napi beérkezett és feldolgozott hulladékból lett véve.

3.kamra lejárt		
	kg	%
berakott mennyiség	2200	
RDF	480	21,8
0-20 rostált	1420	64,5
nehéz frakció	300	13,6

4.kamra berakott		
	kg	%
berakott mennyiség	2200	
RDF	680	30,9
0-20 rostált	1260	57,3
nehéz frakció	260	11,8

6.kamra átrakásos		
	kg	%
berakott mennyiség	2200	
RDF	720	32,7
0-20 rostált	1180	53,6
nehéz frakció	300	13,6

napi biológia		
	kg	%
berakott mennyiség	2200	
RDF	720	32,7
0-20 rostált	1220	55,5
nehéz frakció	260	11,8

átlag	
	%
RDF	29,5
0-20 rostált	57,7
nehéz frakció	12,7

3.kamra lejárt		
		%
klór	0,51	%
nedvesség	19,63	%
higroszkópos	3,4	%
égéshő	15,63	MJ/kg
fűtőérték	13,92	MJ/kg

4.kamra berakott		
		%
klór	0,48	%
nedvesség	34,43	%
higroszkópos	2,68	%
égéshő	19,17	MJ/kg
fűtőérték	17,48	MJ/kg

6.kamra átrakásos		
		%
klór	0,49	%
nedvesség	36,00	%
higroszkópos	3,07	%
égéshő	20,48	MJ/kg
fűtőérték	18,78	MJ/kg

napi biológia		
		%
klór	0,35	%
nedvesség	33,9	%
higroszkópos	2,8	%
égéshő	21,56	MJ/kg
fűtőérték	19,87	MJ/kg

átlag		
		%
klór	0,46	%
nedvesség	30,99	%
higroszkópos	2,9875	%
égéshő	19,21	MJ/kg
fűtőérték	17,51	MJ/kg

4.4. táblázat: Üzemi kísérleti berendezés eredményei különböző biostabilát bemenetek mellett

Forrás: Királyszentistváni MBH labor

A vizsgálatok értelmében a biológiai kezelésen átesett, a biológiai kezelés felénél járó vagy a biológiai kezelésre váró anyag rostálásával, majd légszeparátorral történő elkülönítés során további 20-30% SRF/RDF nyerhető vissza (átlag 29,5%).

A visszanyerhető SRF/RDF laborvizsgálat eredményeiből látható, hogy az értékek a „normál” előállítási folyamathoz hasonlóak, így a két folyamat anyagainak összekeverése releváns változást nem eredményez.

A fent megállapított RDF/SRF mennyisége 30% ez a bejövő mennyiség 19,5%-át jelenti, mellyel az eredeti technológia során keletkező ~18,75% SRF mennyisége megduplázható. A próbasor teszt eredményei alapján a kiválogatott RDF 0,6 % alatti klórtartalommal rendelkezik, amit vegyítve az elsődlegesen kinyert SRF-fel, a határértékeknek megfelel.

Fontos azt is megjegyezni, hogy míg a földszerű anyag és a nehéz frakció akár 3-500 kg/m³, úgy jellemzően a leválasztott RDF/SRF 80-120 kg/m³, így a lerakástól eltérített 30% lerakó szempontjából annál jelentősebb térfogat eltérítést eredményez!

A B-frakció vizsgálatára támaszkodva azonosítottam a frakcióban rejlő további hasznosítási lehetőségeket a hulladéklerakás csökkentésének, valamint haszonanyagok kinyerésének érdekében. Az általam tervezett technológiai ipari méretben történő validációja megfelelő alapot adott, hogy a technológiára használati mintaoltalomként a Szellemi Tulajdonvédelmi Hivatalhoz benyújtása kerüljön (III. sz. melléklet).

4.2.4. Egyéb vizsgálatok, kutatások a „B” frakció energetikai hasznosítási lehetőségeinek vizsgálatára

A biológiai frakcióban rejlő további hasznosítási lehetőségek vizsgálata kapcsán részt vettem egy, a nyers „B” frakcióból préselt csurgalékvízben rejlő energetikai potenciálokat feltáró kutatásban, melyben két publikáció jelent meg, melyekben társszerzőként vettem részt:

- „B” frakcióból préselés útján nyert csurgalékvíz anaerob komposztálási lehetőségei biogáz előállításának céljából
- települési szilárdhulladék kezelése bioelektrokémiai és fermentációs eljárásokkal

A kutatási anyagok témái, eredményei, valamint terjedelme meghaladja dolgozatom kereteit.

4.3. Betét-visszatérítési rendszer (DRS) bevezetését szolgáló előzetes kérdőíves vizsgálata és eredményei a hatékony rendszer bevezetésének érdekében

4.3.1. A DRS szükségszerűsége a magyar hulladékgazdálkodásban

A korábbi hazai jogi szabályozás idején a környezetvédelmi termékről szóló 2011. évi LXXXV törvény értelmében a jogszabály hatálya alá eső termelők, forgalmazók termékdíj megfizetésére voltak kötelezettek a csomagolások vonatkozásában. A jogszabály értelmében 57 Ft/kg termékdíjat kellett fizetni fém italcsomagolást és PET-csomagolást egyaránt, üvegcsomagolás esetén 19 Ft/kg volt 2011. évi LXXXV. Törvény a Környezetvédelmi Termékdíjról [2011. évi LXXXV. Törvény, 2011.]. A hulladékokról szóló 2008/98/EK irányelvet módosító 2018/851 irányelv 2018. júliusában 4-én lépett hatályba, amely megkövetelte a tagállamoktól, a csomagolási hulladékok újrahasznosítási arányának növelése céljából különféle intézkedések tegyenek 2023. január 5-i határidővel [Directive (EU) 2018/851, 2018].

Magyarországon a korábban alkalmazott kiterjesztett gyártói felelősségi rendszer összetett, de lényeges eleme a környezetvédelmi termékdíjak szabályozása volt. Ennek a szabályozási rendszernek a teljes átdolgozása vált szükségessé. Az irányelv előírásai kizárják bizonyos termékek után a költségvetési bevétel növelése érdekében a kiterjesztett gyártói felelősségi rendszeren keresztül történő díjbeszedést, ugyanakkor biztosítják, hogy a termelők viseljék az általuk előállított termékből származó hulladék összegyűjtésével és újrahasznosításával kapcsolatos összes költséget.

Magyarországon az italcsomagolás visszaváltási rendszerét ekkoriban jellemzően önként alkalmazták a gyártók vagy a forgalmazók az újratölthető italcsomagolások (többutas italcsomagolások) esetében. A „betétfizető termékként” történő piaci bevezetést a betétdíj alkalmazásának szabályairól szóló 209/2005 rendelet [25] szabályozta korábban. A betéti rendszerben elhelyezett többutas csomagolás mentes volt a termékdíj kötelezettség alól. A hazai vezető italcsomagolások 2019-ben – még a DRS bevezetését megelőző időszak – becslült mennyiségeit a 4.5. táblázat mutatja be.

4.5 táblázat: Becsült italospalack kibocsátás (2019) – saját forrás

Italos csomagolás típusa	Kibocsátás (ezer darab)	Kibocsátás (tonna)
PET palack	1 715 000	70 000
Alumínium italos doboz	1 275 000	19 700
Egy-utas üveg	294 000	106 000
Társított kompozit csomagolás	n.a.	18 000
Újratölthető üveg	220 000	100 000

A csomagolási hulladékok vonatkozásában a magyarországi tapasztalatok azt mutatták, hogy a SUP (Single Use Plastics) irányelv korábban meghatározott célértékei nem érhetőek el csak a lakosság által végzett szelektív gyűjtéssel, illetve ösztönzés nélkül, passzív visszagyűjtéssel.

A közszolgáltatókkal és hasznosítókkal folytatott irányított interjúim fő megállapítása volt, hogy a lakosság által termelt szelektíven gyűjtött hulladék tisztasága nem volt megfelelő a hatékony és megfelelő újrahasznosítást biztosító technológiák üzemeltetéséhez. Az ebben a rendszerben elkülönítetten gyűjtött lakosságtól származó csomagolási hulladék válogatása után 30-50%-a még mindig lerakásra került főként az alkalmazott gyűjtési rendszer adottságai okán (szennyezés, sérülés, keveredés).

Az a cél, hogy minél tisztább és nagyobb mennyiségű italos csomagolóanyagok begyűjtése és az újrahasznosításra való előkészítése tudjon megtörténni az hasznosítási arányok jelentős növelésének érdekében nem változott. Magyarország 2024. július 1-től vezette be az üveg, a PET és az alumíniumdobozokra a kötelező visszaváltási rendszert (DRS). A törvény értelmében az üzemeltetés első évi tapasztalatainak felülvizsgálata meg kell, hogy történjen.

Munkám jelentősége abban áll, hogy még a bevezetést megelőzően ismerté kellett, hogy váljon a várható lakossági nyitottság mértéke a rendszer kapcsán, illetve feltárásra és azonosításra kerüljenek a hatékony bevezetést befolyásoló, döntést segítő információk, összefüggések a díjak, célcsoportok és visszaváltási helyek vonatkozásában. Ez segítségül tudott szolgálni a rendszer hatékony bevezetésében.

4.3.2. A DRS rendszer működése

Az új visszaváltási rendszer egyaránt kezeli az újratölthető (többutas), valamint az egyszer használatos (egyutas) italcsomagolások visszavételi feltételeit, így egységesen jelenik meg a fogyasztók irányába – egy gyűjtési pont. Ezt a rendszert az állami monopóliumot szerzett MOHU Zrt. – mint egyetlen szereplő – működteti.

A visszaküldött, majd tömörített vagy tömörítetlen italcsomagolást az automaták, illetve a kiskereskedők pufferelik. A hulladékot a közszolgáltatók veszik át a kereskedőktől, majd elszállítják az előkezelő telephelyeikre. Az előkezelést (válogatást) követően a hulladék hulladékhasznosítók felé kerül értékesítésre. Az csomagolási hulladék nyomon követése azonosító segítségével történik, és a visszaváltási díj a kereskedőkön keresztül kerül folyamatosan beszedésre. A visszaváltási művelet során az automatákon és terminálokon keresztül a visszaváltási díj visszatérítése (jóváírása) történik meg a vásárlók irányába (kupon kiállítással, vagy telefonos applikáció segítségével, utalással).

A számlázás alapja az italos csomagolásokon található azonosító. Ez átlátható és hatékony működést tesz lehetővé. A jogszabályban meghatározott paraméterekkel rendelkező azonosító feltüntetését a csomagoláson a gyártó, illetve külföldi gyártás esetén az első hazai forgalmazó biztosítja. Az üzemeltetőnek kell arról gondoskodnia, hogy a visszaváltási rendszerben részt vevő termékeken elhelyezett azonosító a visszaváltásban részt vevő gyűjtő berendezés által olvasható és azonosítható legyen.

4.3.3. A DRS rendszer bevezetésével kapcsolatos kérdőíves vizsgálatának eredményei

Vizsgálatom tárgya a PET, üveg és alumínium betét-visszatérítési rendszer motivációs és hatékonysági vizsgálata volt. A kérdőív a rendszer bevezetését megelőzően, 2020-ban készült 20 430 fős értékelhető minta mellett. A tanulmány a következő kutatási kérdésekre keresett válaszokat:

1. Van-e létjogosultsága az italcsomagolás betét-visszatérítési rendszerének reformjának Magyarországon?
2. Milyen demográfiai jellemzői vannak (nem, lakóhely típusa, végzettsége). akik megváltanák az italcsomagolást a háztartásukban, ha az állam fizetné?
3. Az egyének demográfiai jellemzői és/vagy környezeti attitűdjei jelentősen befolyásolják a tervezett új rendszerről alkotott elképzeléseiket, és hogy mennyire erős a kapcsolat közöttük?

A kérdőív 24 kérdést tartalmazott, amelyeket körülbelül 10 perc alatt lehetett kitölteni, az egyének környezeti attitűdjére vonatkozó kérdésektől a kapcsolatukon át a visszaváltási rendszerig. A kérdések üveg-, PET- és alumíniumdobozokra vonatkoztak, de nem tartalmazták a csomagoló anyagok ürmértékjét, hiszen akkor ez még nem volt elérhető. Nem volt kötelező minden kérdésre válaszolni, így az eredmények bemutatása során előfordulhat, hogy az adott kérdésre felkínált válaszlehetőségek miatt a válaszok megoszlása nem éri el a 100%-ot.

„B” változók (múlt és jelen) - lehetséges magyarázó változó

- A mintának összesen 55,1%-a volt nő (B1),
- mintegy 26,7% a fővárosban, Budapesten él (B17),
- 43,3% diplomás (B18). 77,2%-uk (B19)
- számára jelentős a környezetvédelem,
- 81,2% egyetért azzal, hogy Magyarországon csökkenteni kell a hulladék mennyiségét (B20),
- 70,4% pedig azt, hogy az újrahasznosítás előnyösebb, mint a hulladéklerakás (B23).
- A válaszadók a következő hármat tartották a legfontosabbnak:
 - 69,2%: folyók, tavak, természetvédelmi területek szennyezése (B3);
 - 72,2%: jelentős számú egyszer használatos műanyag eszköz (B4);
 - 57,5%: áruk túlcsoomagolása (B5).

A többség (63,8%) nem sorolta a három legfontosabb közé a jelen kutatás szempontjából releváns két jellemzőt: a szemétklerakók kis számát (B6) vagy az újrahasznosítással kapcsolatos félrevezető információkat (B7).

Az palackokkal kapcsolatban

- 4,5%-a nyilatkozott úgy, hogy nem vásárol ilyen terméket (B14),
- 9,9%-a nem gyűjti össze szelektíven és rakja a vegyes kukába (B13)
- 34,2%-a ehelyett az otthoni szelektív szemeteskukába teszi (B12),
- 32,8%-a élelmiszerboltokban vagy azok mellett elhelyezett üveghulladék-gyűjtőket használ (B9),
- 29,6%-a hulladékgyűjtő szigetre viszi (B10) és
- 6.1 % hulladékudvarba (B11).

„A” változók (jövő vonatkozásában) - válaszok

DRS:

A legmagasabb arányban a válaszadók

- 64,2%-a az automata beváltási gépeket részesítik előnyben, nem pedig a személyes jelenlétet igénylő beváltási pontokat (A2)
- 33,0%-a készpénzben szeretnének pénzt kapni a beváltásért (A10).

Az adott válaszok megerősítik, hogy az italvisszaváltási rendszer reformjának van létjogosultsága Magyarországon, hiszen a lakosság többsége ezt használná.

Visszaváltás helye:

A különböző helyeken kiépítendő visszaváltó automatákat elhelyezésének tekintetében a preferencia sorrend (A3–9):

- 70,4% szupermarketek (Tesco, Auchan, stb.) (A4);
- 52,0% bevásárlóközpontok/bevásárlóközpontok (A3);
- 49,4% az élelmiszer-kiskereskedelmi egységek (A8);
- 47,5% benzinkutak (A5);

Nem támogatottak az alábbiak:

- 54,1% a nagyobb tömegközlekedési csomópontok(A6);
- 54,9% a nagyobb köz- és oktatási intézmények (A7);
- 70,4% a drogériákban és gyógyszertárak (A9)

Visszaváltás és díja

- 73,1%-a szerint akkor is be kell vezetni a visszaváltási rendszert, ha a gyártók beépítik a termékeik árába és azt visszakapják a visszaváltás során (A11);
- 67,2%-uk tartja elfogadhatónak a vásárolt termékek árának mérsékelt emelését a visszaváltási rendszer fenntartása érdekében (A12);
- 71,2%-uk a visszaváltási díj bevezetése esetén nem változtatna vásárlási szokásain, hanem maradna a jelenleg vásárolt termékeknél és visszaváltaná a palackokat (A13);
- 71,8%-uk gyűjtené háztartásában a csomagolást, ha az állam fizetné a visszaváltást, 8,5%-uk pedig betétdíjtól tenné függővé (A14);
- 60,1% venné vissza a csomagolást a kaució fejében; ha a terméket visszaviszik a megszokott üzletbe, az emberek további 13,0%-át ebben az esetben is érinti a kaució mértéke (A15);

Lényeges eredménye a vizsgálatnak, hogy a válaszadók:

- 28,4%-a akkor is hajlandóak lennének visszaküldeni a csomagolást, ha a választható legalacsonyabb díjat – 10 és 20 forint között – kapják azzal, hogy minél magasabb a díj, annál valószínűbb, hogy az új visszaváltási rendszer népszerű lesz (A16).

további leggyakoribb válaszok, hogy Magyarországon:

- 58,0 százalék gondolja úgy, hogy napjaink legnagyobb környezetszennyezésének oka az illegális szemetelésből származó italos palackok/dobozok hulladéka (B8);
- 27,6%-a teljes mértékben, 25,7%-a pedig többnyire elősegítené a háztartási begyűjtést, ha vásárláskor visszaváltási díjat kellene fizetni az üzletben, amit az üres palackok, dobozok kiszállításakor visszakapnának. beváltva (A1).

A rendszer támogatói

A legfontosabb kérdés, a DRS rendszer kapcsán, hogy mi a hajlandóság a rendszer használatára, azaz, hogy kik azok, akik leginkább gyűjtenék a csomagolást a háztartásukban, ha az állam fizetné azok visszaváltását (A14). Ennek eredményeit a 4.6. táblázat mutatja be. A legmagasabb százalékos értékek sötét háttérrel lettek kiemelve.

4.6. táblázat: A rendszer támogatóinak demográfiai megoszlása

A14. Visszaváltaná az italos csomagolást, ha az állam fizetne érte?					
	Nem választott	Igen	Talán, az ártól függ	Nem	Σ
B1. Nemek					
Nem választott	15.70	4.46	0.56	0.06	20.77
Férfi	0.75	19.57	3.41	0.44	24.17
Nő	2.17	47.80	4.51	0.56	55.05
Σ	18.62	71.83	8.48	1.07	100.00
B17. Település típusa					
Nem választott	15.47	0.11	0.01	0.00	15.59
Főváros (Budapest)	1.06	22.21	3.00	0.38	26.65
Község	0.43	10.14	1.02	0.10	11.68
Megyei jogú város	0.56	14.20	1.75	0.24	16.74
Nagyközség	0.10	2.56	0.27	0.01	2.94
Egyéb területi lehatárolások	0.02	0.35	0.04	0.00	0.41
Város	0.98	22.25	2.41	0.34	25.98
Σ	18.62	71.83	8.48	1.07	100.00
B18. Végzettség					
Nem választott	15.54	0.15	0.00	0.00	15.70
Általános iskola	0.05	0.55	0.06	0.00	0.66
Főiskola/egyetem	1.51	37.20	3.98	0.58	43.27
Felsőoktatásban résztvevő diák	0.63	14.10	2.11	0.17	17.02
Középfiskola	0.68	15.20	1.71	0.21	17.81
Posztgraduális	0.21	4.62	0.62	0.09	5.54
Σ	18.62	71.83	8.48	1.07	100.00


A válaszok alapján várhatóan a legfőbb használókból 47,8% nő, 21,78%-a fővárosi (Budapesti), 22,25%-a városban él, 37,20%-a pedig főiskolás vagy végzett. egyetemről. A legkevesebben azok voltak, akik akkor sem adnák vissza a csomagolóanyagot, ha fizetnének érte (mindössze a minta 1,07%-a). Többen voltak, akik ezt attól teszik függővé, hogy mennyit kapnak a megváltásért.

Azok között, akik igennel válaszoltak arra a kérdésre, hogy állami fizetés esetén megváltanák-e háztartásuk italcsomagolását, kiemelkedő volt a nők és a diplomások aránya. A 3. táblázat azonban azt mutatja, hogy azok, akik használnák a DRS rendszert jellemzően városokban élnek.

A változók közötti kapcsolatalemzést (A és B változók) számszerű eredményeit, azaz a Cramer-féle V értékeket a 4.7. táblázat mutatja be.

4.7. táblázat: Eredmények kapcsolati analízise (Cramer index)

		A															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
B	1	0.580	0.446	0.588	0.587	0.587	0.587	0.587	0.587	0.587	0.529	0.486	0.503	0.517	0.534	0.575	0.567
	2	0.435	0.531	0.695	0.691	0.692	0.696	0.691	0.693	0.693	0.439	0.575	0.597	0.435	0.512	0.432	0.426
	3	0.689	0.531	0.707	0.708	0.707	0.707	0.707	0.707	0.707	0.615	0.576	0.598	0.617	0.628	0.683	0.674
	4	0.691	0.532	0.707	0.709	0.707	0.707	0.707	0.707	0.707	0.615	0.582	0.604	0.621	0.632	0.686	0.675
	5	0.689	0.531	0.707	0.708	0.707	0.707	0.707	0.707	0.707	0.616	0.578	0.602	0.618	0.629	0.683	0.675
	6	0.690	0.531	0.707	0.708	0.707	0.707	0.707	0.707	0.707	0.616	0.579	0.602	0.618	0.629	0.684	0.675
	7	0.688	0.531	0.707	0.707	0.707	0.707	0.707	0.707	0.707	0.615	0.576	0.598	0.617	0.628	0.683	0.674
	8	0.491	0.538	0.685	0.685	0.685	0.685	0.685	0.685	0.685	0.440	0.583	0.604	0.441	0.519	0.488	0.481
	9	0.690	0.532	0.709	0.709	0.708	0.708	0.708	0.708	0.708	0.615	0.578	0.600	0.620	0.632	0.688	0.676
	10	0.689	0.531	0.707	0.708	0.708	0.707	0.707	0.707	0.707	0.615	0.578	0.601	0.618	0.629	0.683	0.675
	11	0.688	0.531	0.707	0.707	0.708	0.707	0.707	0.707	0.707	0.615	0.576	0.598	0.616	0.628	0.683	0.674
	12	0.689	0.531	0.708	0.707	0.707	0.707	0.708	0.707	0.707	0.615	0.576	0.599	0.617	0.628	0.683	0.675
	13	0.689	0.531	0.707	0.707	0.707	0.707	0.707	0.707	0.707	0.616	0.577	0.599	0.619	0.633	0.686	0.676
	14	0.689	0.531	0.707	0.707	0.707	0.707	0.707	0.707	0.707	0.615	0.576	0.598	0.617	0.628	0.683	0.674
	15	0.544	0.516	0.627	0.628	0.626	0.626	0.626	0.626	0.626	0.480	0.557	0.580	0.497	0.488	0.557	0.519
	16	0.506	0.543	0.687	0.687	0.686	0.687	0.686	0.687	0.686	0.447	0.590	0.610	0.451	0.534	0.511	0.496
	17	0.436	0.533	0.702	0.700	0.699	0.704	0.699	0.701	0.701	0.439	0.577	0.600	0.437	0.514	0.433	0.427
	18	0.438	0.535	0.698	0.698	0.697	0.700	0.698	0.697	0.697	0.442	0.580	0.603	0.439	0.515	0.435	0.431
	19	0.567	0.534	0.697	0.697	0.697	0.697	0.697	0.697	0.697	0.505	0.586	0.608	0.510	0.524	0.576	0.555
	20	0.574	0.540	0.689	0.690	0.689	0.689	0.689	0.689	0.689	0.511	0.591	0.612	0.514	0.528	0.581	0.560
	21	0.450	0.544	0.689	0.690	0.689	0.694	0.690	0.689	0.689	0.446	0.599	0.621	0.454	0.534	0.449	0.444
	22	0.442	0.540	0.685	0.685	0.684	0.686	0.685	0.684	0.685	0.444	0.590	0.614	0.448	0.523	0.444	0.440
	23	0.504	0.493	0.600	0.601	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.457	0.536	0.557	0.468	0.468	0.505	0.497

Szín kód: a szignifikancia erőssége: gyenge  erős

Látható hogy számos vizsgált összefüggés szignifikáns, melyek közül mindegyik legalább közepesen erős kapcsolatot mutat ($0,2 < \text{Cramer index} < 0,7$), illetve erős kapcsolatok is megfigyelhetők ($0,7 < \text{Cramer index}$). Ez azt jelenti, hogy a potenciálisnak feltételezett magyarázó változók mindegyike ténylegesen, és legalább közepesen erősen érinti az összes – a jövőben tervezett visszaváltási rendszerrel kapcsolatos – változót.

A következőkben a Cramer-féle V-vel számszerűsített asszociációs kapcsolatok után bemutatásától áttérünk a rangkorrelációként is értelmezhető (a sorrendi skálán mért A és B változók között lehetséges) összefüggéseinek vizsgálatára. Az 4.8. táblázat eredményei azt is figyelembe veszik, hogy a szóban forgó kérdésekre adott válaszokban rangsor állítható fel, és kapcsolat kereshető közöttük. Meghatározhatjuk például, hogy „minél több/kevesebb”

„jobban/kevésbé” jellegű állítások ezeken az összefüggéseken alapulnak. A 24 elvégzett kapcsolatvizsgálat közül csak egy volt nem szignifikáns (az 4.8. táblázatban rövidítve n.s.) a következő két kérdésre adott válaszok közül:

4.8. táblázat: Eredmények kapcsolati analízise (Cramer index)

	A14.	A15.	A16.
	Visszavinné az italos csomagolóanyagot, ha az állam fizetne	Visszavinné az italos csomagolóanyagot abba az üzletbe, ahol általában vásárol, ha az állam fizetne érte?	Betéti díj
B16. Visszaviszi ön, vagy a háztartás egy másik tagja a használt üres palackokat az üzletbe?	0.131	0.224	-0.130
B17. A település típusa	-0.035	-0.034	0.013
B18. Végzettség	n.s.	-0.015	-0.027
B19. mennyire fontos a környezet	0.153	0.085	-0.061
B20. Egyet ért-e azzal, hogy Magyarországon csökkenteni kell a hulladék mennyiségét	0.117	0.077	-0.044
B21. A gyűjtőpont távolsága	0.112	0.108	-0.095
B22. A vásárolt PET, üveg-, alumíniumcsomagolású ital mennyisége	-0.037	-0.021	0.024
B23. Az újrahasznosítás hasznosabb, mint a hulladéklerakás?	0.104	0.093	-0.055

Megjegyzés: n.s.: nem szignifikáns eredmény Szín kód: a szignifikancia erőssége:

gyenge



mérésékelt

- A14. Gyűjtené-e a csomagolási hulladékot a háztartásában, ha betétdíjas lenne? (1: nem, 2: attól függ, hogy mekkora a betétdíj, 3: igen)
- B18. Legmagasabb iskolai végzettség (1: általános iskola, 2: középiskola (gimnázium, szakközépiskola, szakiskola), 3: jelenleg felsőoktatásban van, 4: főiskola/egyetem, 5: posztgraduális végzettség)

Nem lehet szignifikánsan kijelenteni, hogy minél alacsonyabb (magasabb) valaki végzettsége, annál többé, vagy kevésbé gyűjtené a csomagolási hulladékot a háztartásában, a betétdíjas rendszer bevezetése esetén.

Minden egyéb vizsgált kapcsolat jelentős. A 23 szignifikáns kapcsolat közül egy közepesen erősnek nevezhető ($\tau = 0,224$). Ugyanis minél inkább hozzászólt egy háztartás a használt üres palackok bolti cseréjéhez (B16), annál több csomagolóanyagot gyűjtenének össze, ha az állam fizetné a visszaváltásukat (A14). A többi 22 szignifikáns kapcsolat csak gyengének minősíthető ($\tau < 0,2$), de mindenképpen fontos megjegyezni, hogy ezek is értelmezhető kapcsolatot mutatnak. Előjelük alapján a következő következtetések vonhatók le.

Ha a kormány fizetne a csomagolás visszaváltásáért, a háztartások nagyobb valószínűséggel gyűjtenék be a csomagolóanyagokat (A14), vagy nagyobb valószínűséggel vinnék vissza abba az üzletbe, ahova járnak (A15), és erre még egy alacsonyabb díj esetén is hajlandóságot mutatnak (A16).

- a palackokat általában visszaviszik (B16);
- kisebb településen laknak (B17);
- fontosnak tartják a környezet védelmét (B19);
- egyetértenek abban, hogy Magyarországon csökkenteni kell a hulladékot (B20);
- távolabbi gyűjtőhely is megfelelő számukra (B21);
- heti átlagban kevesebb csomagolt italt vásárolnak (B22);
- az újrahasznosítást előnyösebbnek tartják, mint a hulladéklerakást (B23).

Az végzettség (B18) esetében már láttuk, hogy az nem befolyásolja érdemben, hogy gyűjtené-e a visszaváltható csomagolást, ha az állam fizetne érte (A14). Az végzettséggel kapcsolatban negatív összefüggés látható, hogy a szokásos üzlethelyi beváltás valószínűségével (A15), valamint a betétdíj mértékével (A16). Vagyis minél alacsonyabb (magasabb) végzettsége van valakinek, annál valószínűbb (kevésbé valószínű), hogy elvinné a csomagolási hulladékot abba az üzletbe ahová jár, és annál magasabb (alacsonyabb) összeget várna viszont.

A kapcsolatalemzések eredményei alapján megállapítható, hogy az egyének demográfiai jellemzői és környezeti attitűdjei egyaránt befolyásolják a tervezett új rendszerről alkotott elképzeléseiket. Ez alól kivétel az, hogy a végzettség nem befolyásolja jelentősen, hogy élnének-e az új rendszerrel.

4.4. Hulladékkezelő technológia fejlesztése moduláris szimulátorral

4.4.1. Hulladékkezelő rendszerek fejlesztéseinek szükségessége, hulladékáramok változása

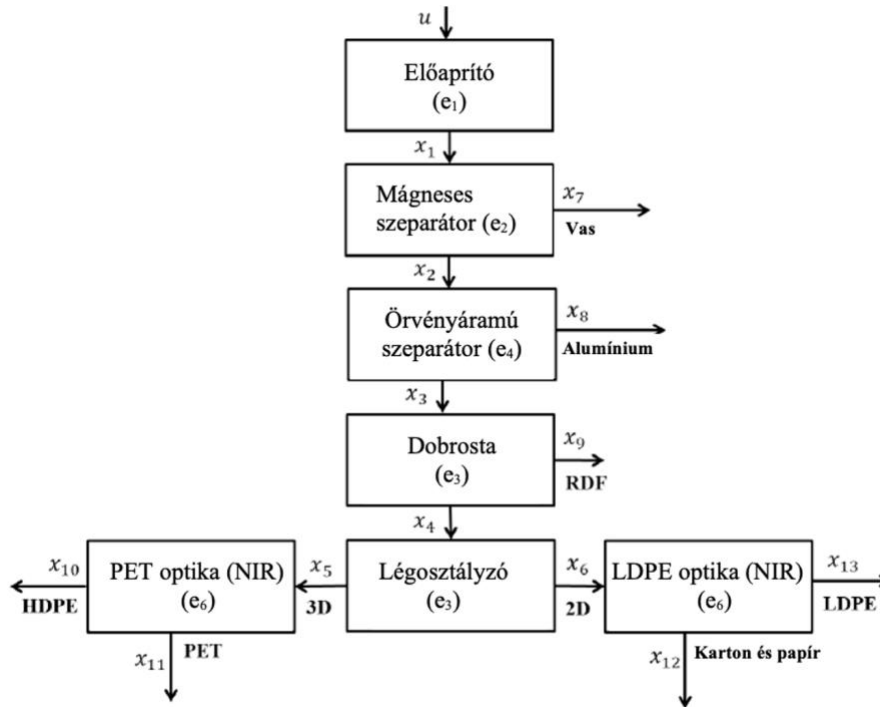
Fontos, hogy a meglévő hulladékkezelő technológiák (MBH üzemek, szelektív hulladék válogató technológiák, egyéb hulladékból energetikai hasznosításra alkalmas anyagot gyártó üzemek) a jövőben is hatékonyan tudják ellátni a hulladékgazdálkodási feladatukat, ezért szükséges vizsgálni, hogy megváltozó bemenetek esetében is alkalmasak-e erre, illetve milyen várható válogatási eredményekkel lehet kalkulálni, valamint az új hulladék áramok vonatkozásában milyen technológiai átalakításokra lesz szükség, vagy nyílik lehetőség.

A kutatásom célja egy olyan modellezési és szimulációs koncepció kidolgozása, amely képes integrálni az összes rendelkezésre álló információt, és képes kezelni a mérések bizonytalanságát is moduláris szimulátor felépítésével. Munkám során a hulladékfeldolgozó technológiák modellezési lehetőségeit vizsgáltam azzal a céllal, hogy optimalizálni lehessen a változó hulladékösszetételek mellett a már meglévő technológiákat, illetve új technológiákat tervezéséhez nyújtson segítséget. A modell felépítését követően szakértői validálást hajtottam végre.

A modellezés kulcsparamétere a berendezések szétválasztási hatékonyságának meghatározása a technológiákban. Az iparági szakértők, az iparági tapasztalatok és a válogatóberendezések gyártóinak teljesítmény-előírásai szerint meghatározták a válogatógépek hatékonyságát a hulladékelemek tekintetében.

4.4.2. Technológiai modell meghatározása

A modellezett válogató technológiai sémáját a 4.4. ábra mutatja be.



4.4. ábra Válogató technológia (saját szerkesztés)

Az összegyűjtött hulladékáram (u) egy előaprítóba (e_1) kerül. Az e_1 -nek egy kimeneti adatárama van (x_1), amely csak méreteloszlásban tér el a bemenettől (u). A második egység egy mágneses elválasztó (e_2). Ennek az eszköznek a feladata a mágnesezhető fémek szétválasztása. Ez nagyon fontos a gépek sérülésének elkerülése érdekében. A mágneses elválasztó két kimenettel rendelkezik, x_2 és x_7 . Az x_7 mágneses fémeket tartalmaz, az x_2 pedig az x_1 összes többi összetevőjét. A harmadik egység egy örvényáram-leválasztó (e_3). Ebben az egységben a nem mágnesezhető fémeket eltávolítják. Két kimenete van, x_3 és x_8 . Az x_8 nem mágnesezhető fémeket tartalmaz. A negyedik egység egy dobszita (e_4), két kimenettel, x_4 és x_9 . Ez a berendezés leválasztja az RDF komponensek nagy részét az x_9 adatfolyamban. Az x_4 belép egy ballisztikus szeparátorba – ez gyakorlatilag egy rostálás és légosztályzásnak megfelelő művelet – (e_5), amely elválasztja a tipikusan 2D (x_6) és 3D (x_5) komponenseket. A 2D összetevők általában az LDPE, a papír és a karton, míg a 3D összetevők a HDPE és a PET. A háromdimenziós komponensek PET optikával (NIR) (e_6) elválaszthatók egymástól. Az x_{11} PET-et, míg az x_{10} HDPE-t tartalmaz. A ballisztikus szeparátor másik kimenete (x_6) tartalmazza

a 2D komponenseket. Ezek az alkatrészek LDPE optikával (NIR) (e_7) szétválaszthatók. Ennek az egységnek az egyik kimenete (x_{12}) tartalmazza a papírkomponenst, a másik kimenet (x_{13}) pedig az LDPE komponenst.

A fent említett technológia alapanyaga a különféle műanyagok (PET, HDPE, LDPE), fémek (vas és alumínium), karton, papír, valamint minimális mennyiségű veszélyes hulladék, jellemzően klórtartalmú anyagok. Továbbá a szelektíven gyűjtött hulladék közel 45%-a nem újrahasznosítható (RDF).

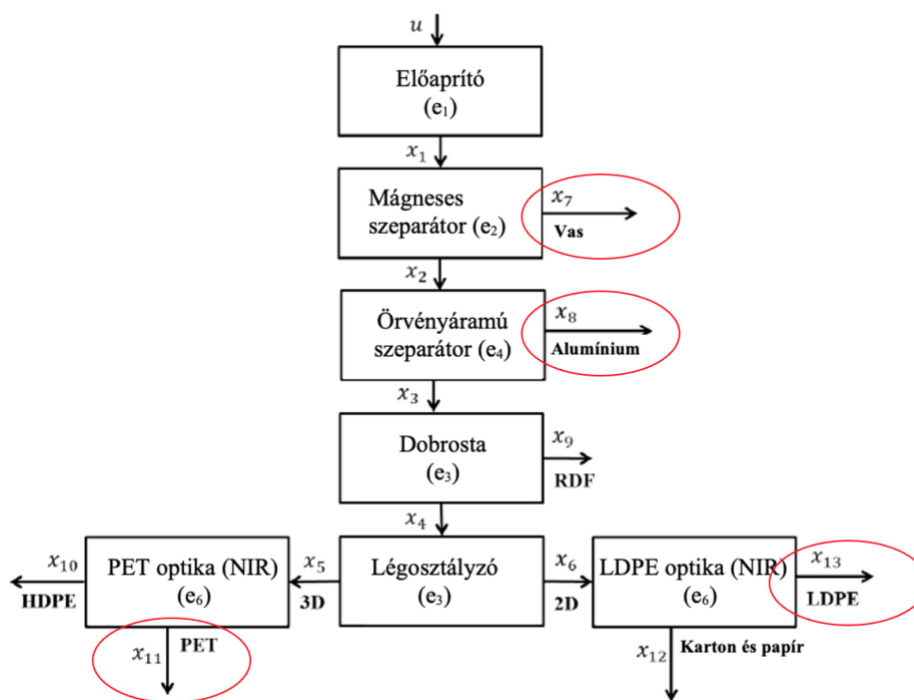
Az elválasztási hatékonyságra vonatkozó adatokat két szakértőtől gyűjtöttük össze. Az S1 táblázat tartalmazza az Exp.1 szerinti összes hulladékkomponensre a gépekre alkalmazott leválasztási hatékonysági intervallumokat (r_e). Minden berendezés esetében a táblázatban szereplő arányok az alacsonyabb számú adatfolyam arányait jelentik. Például a mágneses szeparátornál a vasra vonatkozó táblázatban szereplő $[0,05,0,08]$ érték azt jelenti, hogy a berendezésbe kerülő vas 5-8%- a az x_2 -es áramban fog távozni. Ugyanez igaz a többi berendezésre is. A szakértők által szolgáltatott adatokat berendezések és alkatrészek szerint összesítettük. Ezeket az összesített eloszlásokat használták fel az Monte Carlo szimulációban, hogy véletlenszámú hatásfokokat generáljanak minden egységhez.

4.4.3. Szimulációs eredmények, szakértői validáció

A modellel számított eredményeket a hulladékválogatás területén dolgozó szakemberek validálták. Az egyes szakértők berendezések tervezésében, üzemeltetésben részt vevő szakértők, tervezők, illetve üzemvezetők.

A megbízott szakértők függetlenek voltak a modell paramétereit biztosító szakértőktől, és a meghatározott folyamatfolyamokhoz a meghatározott komponensek mennyiségét kellett megadniuk. Ez azt jelentette, hogy egy megadott komponensnek hány százaléka van jelen egy megadott anyagáramban a bemenő anyagáramra vetítetten.

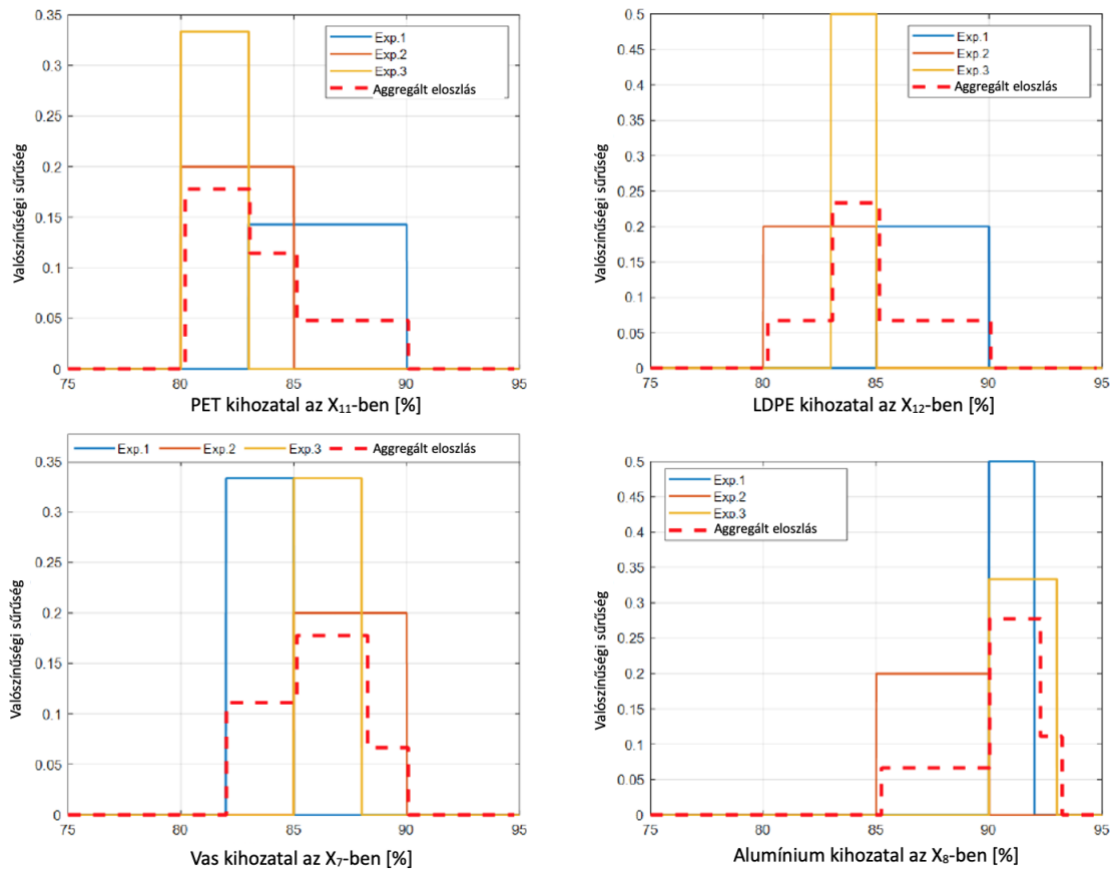
Az 4.5. ábrán pirossal vannak bekarikázva azok a folyamatok és komponensek, amelyeknél a validálást elvégeztem.



4.5. ábra: A szakértői validációhoz felhasznált hulladékáramok (saját forrás)

A szakértőknek a következő kérdésekre kellett válaszolni: (1) Határozza meg a PET kilépő hozamát (a bemenethez viszonyítva tömegszázalékban) (c_1) a PET-ben dús frakcióban (x_{11}). (2) Határozza meg az LDPE (c_2) kimeneti hozamát (a tömegszázalékban kifejezett bemeneti mennyiséghez képest) az LDPE-ben dús frakcióban (x_{13}). (3) Határozza meg a vas (c_5) kimeneti hozamát (a tömegszázalékban kifejezett belépő mennyiséghez képest) a vasban dús frakcióban (x_7). (4) Kérjük, határozza meg az alumínium (c_6) kimeneti hozamát (a tömegszázalékban kifejezett bemenethez képest) az alumíniumban dús frakcióban (x_8).

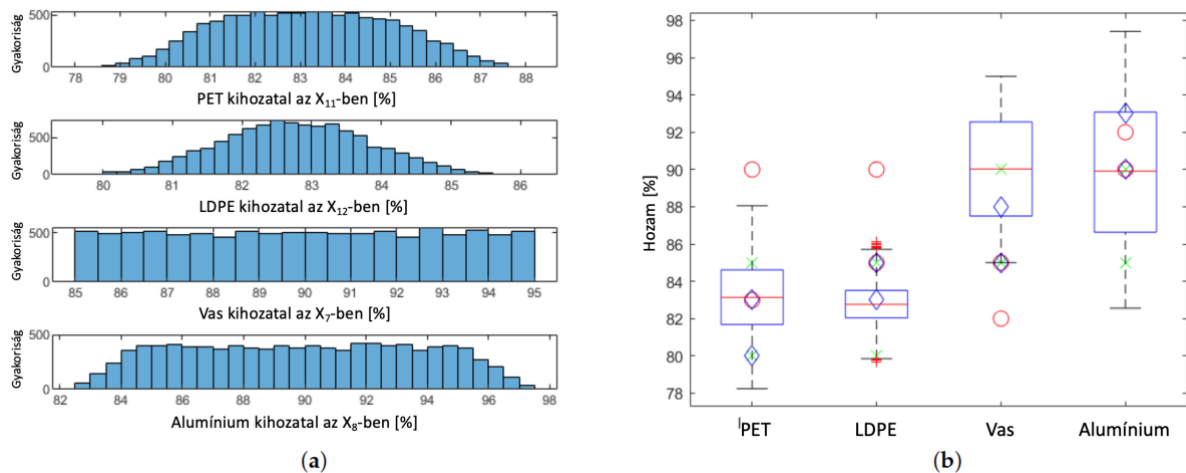
A szakértők által adott válaszok mindegyike egy intervallumot határozott meg. A szakértők által megadott intervallum alsó és felső korlátja szerinti egyenletes eloszlást feltételezve, a 4.6. ábrán látható eloszlások az egyes szakértők szerinti eloszlások. A három eloszlást összesítve megkapjuk a piros szaggatott vonallal jelölt eloszlást, amivel később a paraméterek eloszlását jellemezhetjük.



4.6. ábra: Egyedi és aggregált eloszlások a szakértői validáció alapján (saját forrás)

Mivel a szimuláció bemenete bizonytalan, ezért MC szimuláció alkalmazására volt szükség. A kétmintás Kolmogorov–Smirnov (K-S) teszttel lett meghatározva az MC szimulációk minimális száma, amely ahhoz szükséges, hogy az eredményül kapott eloszlás független legyen a szimulációk számától.

Első lépésben 100 futás eredménye lett összehasonlítva 1100 futtatással, és szignifikáns különbséget volt felfedezhető. Ezután került összehasonlításra az 1000 futtatás eredménye a 2000 futtatás eredményeivel, és még itt is különbség volt tapasztalható. A 3000 és a 4000 futás eredményeit összehasonlítva már azonos eredmények születtek. Az összesen 6000 MC szimuláció lefuttatása és vizsgálata azt mutatta meg, hogy a teszt hány adatpont után nem befolyásolja az eloszlást. Látható, hogy 2000 szimulációs pont után a következő 1000 szimulációs pont nagyon hasonló eloszlásból adódik; a teszt azonban továbbra is azt mutatja, hogy 3000 MC szimulációra volt szükség. A komponens hozamok normál eloszlásai meghatározott technológiai áramokban Monte Carlo szimulációs eredményeket a 4.7. ábra mutatja.



4.7. ábra: (a) A komponensek normál eloszlása a meghatározott anyagáramokban 3000 MC szimuláció esetén
(b) szakértői validáció szimulációs eredményei (saját forrás)

A technológia hulladékáramaiban lévő komponensek kihozatala a Monte Carlo szimuláció eredményei alapján normál eloszlásúak.

A 4.7. (a) ábra azt mutatja, hogy a vas és az alumínium kihozatala nem tipikus normális eloszlás. Ez azért van, mert ezek az összetevők a folyamat elején elhagyják a technológiát, így a berendezések hatékonyságát célzó véletlenszám-generálás nem gyakorol olyan jelentős hatást rájuk. Ezzel szemben a PET és az LDPE komponensek hozama tipikus normál eloszlást mutat, mivel ezek a frakciók minden berendezésen áthaladnak, ennek megfelelően a véletlenszám-generálás jelentős hatással van rájuk.

A fent bemutatott eredményeket a szakértők által megadott validálási intervallumokkal együtt a 4. (b) ábra mutatja be. Mindegyik mezőben a középső jel a mediánt, a doboz alsó és felső szélé pedig a 25. és 75. percentilist jelöli. A whiskerek a legszélsőségesebb adatpontokig terjednek, amelyek nem számítanak kiugrónak, a kiugró értékeket pedig külön a „+” szimbólum határozza meg. A piros o-marker, a zöld x-marker és a kék gyémánt-marker a három szakértő által megadott intervallumok maximális és minimális értékeit jelentik (Exp.1, Exp.2 és Exp.3)

A szimulációs eredmények mediánja minden esetben a szakértők által megadott intervallumokban van.

A fenti példa azt mutatja, hogy a kidolgozott módszer működik. A módszer lényege, hogy a technológiákban szereplő elemeket a korábban ismertetett elemi modellek szerint osztályozzuk. Munkám célja egy olyan szimulátor kifejlesztése volt, amely hasonló a vegyiparban hulladékkezelési folyamatokhoz használt áramlási íves szimulátorokhoz. Modellezési és elméleti szempontból a kutatás jelentősége egy újszerű alkalmazás, az üzemeltetési tapasztalatok vagy szakértői ismeretek és a modellezés integrálására. Az iparági technológia okán lévő bizonytalanság csökkentése érdekében Monte Carlo szimuláció került alkalmazásra itt mára a K-S teszt által meghatározott minimális futtatásszámmal. A szimulációs eredmények validálásához szakértői adatok kerültek felhasználásra. A szimuláció paramétereinek értékelésére szintén K-S teszt szolgált.

A szimulációs eredmények validálása után megállapítható, hogy a moduláris szimulátorban lévő modellek jól megfeleltek az iparági szakértők által szolgáltatott adatoknak. A kifejlesztett eszközzel a várható inputok modellezésével, a szükséges outputok (egyéb anyagok típusa, mennyisége, minősége) figyelembevételével előre jelezhetők a hulladékáramok változásai a termelés, a gyűjtés, vagy a különböző anyagok jövőbeni értékeinek változása miatt, sőt a betérendszer tervezett magyarországi bevezetését is figyelembe véve.

A kidolgozott módszer alkalmas vezetői döntéshozatal támogatására, segíti a beruházási projekteket, mivel prediktív elemző eszköznek tekinthető. Alkalmazható eltérések kimutatására, azaz alkalmas a számított/várható és mért értékek összehasonlításával történő monitorozásra és az eloszlások összehasonlítása alapján hibák azonosítására. A kifejlesztett szimulátor támogatja a mi lenne, ha típusú elemzést, ezért alkalmas a folyamatok újratervezésére. OODA hurok (Observe, Orient, Decide, Act - Figyelj, Tájékozódj, Dönts, Cselekedj) által. Rugalmassága miatt az eszköz egyszerűen integrálható döntéstámogató rendszerekbe, ahol az eredményeket műszerfalakon lehet megjeleníteni. Azonban a módszer egyértelmű hátránya, hogy nem használható az alapvető költségoptimalizálás alapjául. Ennek ellenére előnye, hogy a modell könnyen bővíthető és fejleszhető a különböző igényekhez igazodva.

A moduláris szimulátor felépítésének és validálásának legjelentősebb eredményei a következők:

- Kidolgoztam egy modellezési koncepciót, amely sikeresen alkalmazható nagy bizonytalanság melletti rendszerek leírására, melyeket elsősorban a mérések alacsony száma okoz;
- Kifejlesztettem egy moduláris szimulátor keretrendszert, amely képes technológiai sémákat szimulálni különféle kapcsolatokkal;
- Javasoltam egy Monte Carlo szimuláción alapuló módszert a szakértői tudás felhasználására a modellezésben és a modell validálásban.

A kifejlesztett szimulátor új lehetőségeket képes nyitni a hulladékválogató technológiai folyamatok kialakításában. Az anyagparaméterek változása figyelembe vehető, a moduláris szimulátor pedig rugalmas, a kormányzati és környezetvédelmi szabályozási változásokhoz alkalmazkodni képes hulladékválogatási technológiákat eredményezhet.

5. Összefoglaló

Az ember és környezetének megbomló egyensúlya, az ipari forradalom és azzal párhuzamosan zajló népességrobbanás számos környezeti terhelést okozott, okoz. Az erőforrások, alapanyagok felhasználása hatalmas méreteket öltött. A társadalmakat a lineáris gazdasági modell jellemezte, ahol a termékek használatukat követően hulladékká váltak. A felfokozott termelés, az egyszer használatos eszközök és a gyorsuló technológiai fejlődés egyre rövidebbé tették a termékek életciklusát. A lineáris gazdasági modellben növekvő mennyiségű alapanyag és energiahordozó felhasználása történt, igen jelentős mennyiségű hulladék képződés mellett.

A problémák kezelésére helyi regionális és globális szinten születtek javaslatok. A hulladékgazdálkodás prioritásait foglalja össze az ún. „hulladékpiramis”, melynek szintjei közül a megelőzés (tervezési elvek), az újra használat a termékek életciklusára fókuszál, az újrahasznosítás, termikus hasznosítás, valamint a lerakás a hulladékokra.

A lineáris gazdasági modellel szemben került megfogalmazásra a körforgásos gazdasági modell. Itt termék életciklusa végén benne marad a gazdasági körforgásba, abból ismét alapanyag, vagy elsődleges erőforrásokat kiváltó anyaggá válik. Ideális esetben nem lesz hulladéklerakás.

Irodalmi fejezetben áttekintést adtam a hulladékgazdálkodás fejlődéséről, céljairól és várható trendjeiről. Bemutattam azokat a területeket, ahol álláspontom szerint fejlesztési potenciálok vannak. Ezen vizsgálataim alapján megállapítottam, hogy a szabályozási eszközök folyamatos felülvizsgálata, a körforgásos gazdaság szemléletének a terméktervezésben való érvényesítése, valamint a rendelkezésre álló hulladékkezelési és válogatási technológiák folyamatos fejlesztése elengedhetetlen a szigorodó elvárásoknak való megfelelés érdekében.

Munkám célja különböző eszközök vizsgálatával és fejlesztésével hozzájárulni a hulladéklerakás minimalizálásához. Ennek időszerűségét adja, hogy a hazai 40-45%-os lerakási arányt 2035-ig 10% alá kell szorítani. Ezeknek a céloknak az érdekében, az anyagok és módszerek fejezetben bemutatott módon:

- Megterveztem egy mechanikai és biológiai hulladékkezelő technológiát a lakossági vegyesen gyűjtött szilárd hulladék lerakásának, valamint a kezeletlen hulladékok lerakásából eredő főként biológiai (főként közegészségügyi) kockázatok csökkentésének érdekében. Olyan technológia került a tervnek megfelelően megvalósításra, mely azon hulladékáramokat képes leválasztani, aminek van hazai hasznosítói háttere, valamint ami flexibilisen képes a változó igényeknek hosszú távon is megfelelni a kimenetek szabályozásával (rostacserekkel, légosztályozó leválasztási pontok, optikai válogató kimenetek).
- Megterveztem a további lerakás csökkentése érdekében egy olyan kiegészítő technológiát mely a biológiailag bomló („B”) frakció komplex hasznosítását célozta meg. Az általam javasolt fejlesztésnek és mobilberendezésekkel megvalósított üzemi próbájának eredményeként használati mintaoltalom került bejegyzésre. A technológia eredménye, a még nagyobb arányú hasznosítása a vegyesen gyűjtött lakossági hulladéknak.
- Bevezetése előtt vizsgáltam és következtetéseket fogalmaztam meg a DRS rendszerrel kapcsolatban. A csomagolási hulladék –, ami igen jelentős hányadát teszi ki a lakossági hulladéknak – eltérítése a vegyes gyűjtéstől nagy mértékben csökkenti a hulladék lerakást, tiszta és nagy mennyiségű tiszta anyagot képes biztosítani a hasznosítói iparnak. Vizsgáltam a rendszerhasználati hajlandóságot, gyűjtőpontok elhelyezését, a díj mértékét a sikeres bevezetés érdekében.
- Kifejlesztettem egy moduláris szimulátorrendszert, hogy rugalmas eszköz álljon rendelkezésre, hogy vizsgálni és becsülni lehessen a mennyiségi és minőségi viszonyoktól függően a meglévő, vagy tervezett technológiákat. A validált eszköz a további tervezett válogatótechnológiákon keresztül képes hozzájárulni a lerakás csökkentéséhez.

Doktori munkámmal remélhetőleg, hozzá tudtam járulni a hazai hulladékgazdálkodás fejlődéséhez, a körforgásos gazdaság megvalósításához, a hulladékban „elvesző” értékes anyagáramok gazdaságba történő visszavezetéséhez, valamint a „Zero Waste” (nulla hulladék) globális koncepciójához.

6. Tézisek

Mechanikai és Biológiai Hulladékkezelő (MBH) létesítmény tervezése a hazai alternatív tüzelőanyagok igényeinek megfelelően

1.Tézis *Az Észak-Balaton Régióban vegyesen gyűjtött lakossági hulladék mennyiségi és minőségi összetételének megfelelően:*

- *megterveztem egy 140.000 ezer tonna TSZH kezelésére alkalmas korszerű, robosztus mechanikai és biológiai hulladékkezelő létesítményt, mely rugalmasan képes megfelelni a magyarországi alternatív tüzelőanyag piaci változó igényeinek két féle (14-16 MJ/kg , 18-22 MJ/kg) termék gyártásával;*
- *a tervezést követően a felügyeltem a kivitelezést, próbaüzemet, ami biztosította, hogy tervezési és kivitelezési fázisban az elvárt paraméterek biztosítva legyenek.*

Kapcsolódó cikk:

- Sarkady, A., Yuzhakova, T., Dióssy, L., Kurdi, R., & Rédey, Á. (2013). NEW TRENDS IN COMMUNAL WASTE MANAGEMENT AT THE REGIONAL LEVEL: WASTE TREATMENT PLANTS IN HUNGARY AND PRACTICAL APPLICATIONS.

Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ), 12(8).

Biológiailag aktív („B”) frakció hasznosítása, használati mintaoltalom megszerzése

2.Tézis *Azonosítottam az Észak-Balaton Hulladékgazdálkodási rendszerben üzemeltetett 120.000 tonna/év kapacitású MBH üzemben kezelt mintegy 60-70.000 tonna/év mennyiségben keletkező „B” frakcióban rejlő energetikai lehetőségeket. Ennek során megterveztem egy új technológiát, ami további, mintegy 18-20.000 tonna/év RDF/SRF tüzelőanyag előállításra alkalmas. A technológia használati mintaoltalmat kapott.*

Kapcsolódó mintaoltalom:

Aktaszám: 137139-3046 EV/E/MGP
Tárgy: Használati mintaoltalmi bejelentés száma: U2300217
Bejelentés címe: Hulladékkezelő rendszer egyesén gyűjtött lakossági hulladék szétválogatására
Dátum: Budapest, 2024. március 26.
Jogosult: Pannon Egyetem
Benyújtók: Sarkady Attila, Kurdi Róbert, Kertai László

Kapcsolódó cikk:

- Rózsenszki, T., Koók, L., Hutvágner, D., Nemestóthy, N., Bélafi-Bakó, K., Bakonyi, P., ... & Sarkady, A. (2015). Comparison of anaerobic degradation processes for bioenergy generation from liquid fraction of pressed solid waste. Waste and biomass valorization, 6, 465-473.
- Rózsenszki, T., Koók, L., Bakonyi, P., Nemestóthy, N., Logroño, W., Pérez, M., ... & Sarkady, A. (2017). Municipal waste liquor treatment via bioelectrochemical and fermentation (H₂+ CH₄) processes: Assessment of various technological sequences. Chemosphere, 171, 692-701.

Betét-visszatérítési rendszer (DRS) bevezetésének várható hatásainak vizsgálata

3.Tézis Magyarországi jogszabályi változásokat megelőzően 24 kérdésből álló kérdőíves felmérést végeztem a DRS rendszer bevezetésének elfogadottságával kapcsolatban. 20.430 fő adatainak elemzéséből megállapítottam, hogy

- ***a korrelációk vizsgálata alapján a DRS rendszer bevezetésének van létjogosultsága Magyarországon;***
- ***az egyének demográfiai jellemzői és környezeti attitűdjei egyaránt befolyásolják a tervezett új DRS rendszer használatát, azonban a végzettség nem befolyásolja jelentősen ennek hajlandóságát;***

- *a legkisebb választható díjtételnél is (10-20,- Ft) jelentős a hajlandóság a használatra, ami a díj emelkedésével növekszik;*
- *a rendszer iránt leginkább nyitottak a városban élő felsőfokú végzettséggel rendelkező nő;*
- *a hatékonyság érdekében a bevásárlóközpontokban és nagyobb üzleteknél szükséges az elhelyezést elsősorban biztosítani.*

Kapcsolódó cikk:

- Boros, A., Kurdi, R., Lukács, Z. P., Sarkady, A., & Banász, Z. (2021). Opinion of the Hungarian population on the reform of beverage packaging deposit-refund system. Sustainability, 13(11), 6373.

Hulladékkezelő technológia fejlesztése moduláris szimulátorral

4.Tézis Kifejlesztettem egy moduláris szimulátorrendszert, amelynek segítségével gazdaságos módon tervezhetővé válnak a mennyiségi és minőségi viszonyokhoz illeszthető hulladékválogatási technológiák. Az általam vizsgált modell válogató technológia kapcsán az optimális 3000 darabszámú ciklusokat lefuttatva megállapítottam, hogy a szimulációval nyert kizozatali százalékos eredmények mediánja minden esetben a szakértők által megadott intervallumokban helyezkedett el, ezzel validáltam az általam kifejlesztett eszközt.

Kapcsolódó cikk:

- Bárkányi, Á., Egedy, A., Sarkady, A., Kurdi, R., & Abonyi, J. (2022). Expert-based modular simulator for municipal waste processing technology design. Sustainability 14 (24), 16403.

Irodalomjegyzék

2000/532/EC: Commission Decision of 3 May 2000 replacing Decision 94/3/EC establishing a list of wastes pursuant to Article 1(a) of Council Directive 75/442/EEC on waste and Council Decision 94/904/EC establishing a list of hazardous waste pursuant to Article 1(4) of Council Directive 91/689/EEC on hazardous waste
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32000D0532>

2011. Évi LXXXV. Törvény a Környezetvédelmi Termékdíjról. 2011.
<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1100085.tv>

2012. Évi CLXXXV. törvény a hulladékról
<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1200185.tv>

270/2023. (VI. 29.) Korm. rendelet a koncessziós társaság és a Koordináló szerv együttműködésére vonatkozó részletes szabályokról
<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2300270.kor>

80/2023. (III. 14.) Korm. rendelet a kiterjesztett gyártói felelősségi rendszer működésének részletes szabályairól
<https://njt.hu/jogszabaly/2023-80-20-22>

Abdallah, M., Talib, M. A., Feroz, S., Nasir, Q., Abdalla, H., & Mahfood, B. (2020). Artificial intelligence applications in solid waste management: A systematic research review. *Waste Management, 109*, 231-246.

Agreement, P. (2015, December). Paris agreement. In *report of the conference of the parties to the United Nations framework convention on climate change (21st session, 2015: Paris)*. *Retrieved December* (Vol. 4, No. 2017, p. 2). Getzville, NY, USA: HeinOnline.

Babu, R., Veramendi, P. M. P., & Rene, E. R. (2021). Strategies for resource recovery from the organic fraction of municipal solid waste. *Case studies in chemical and environmental engineering, 3*, 100098.

Bakon, K., Holczinger, T., Süle, Z., Jaskó, S., & Abonyi, J. (2022). Scheduling under uncertainty for Industry 4.0 and 5.0. *IEEE Access*, *10*, 74977-75017.

Bocskay, B., & Riesz, L. (2009). A cementipar fejlődése es a Cement Szakosztály tevékenysége az utóbbi évtizedben. *Építőanyag*, (3), 72.

Bobek-Nagy, J., Kurdi, R., Kovács, A., Simon-Stöger, L., Szigeti, M., & Varga, C. (2023). How introduction of deposit-refund system (DRS) changes recycling of non-drinking bottle PET wastes. *Express Polymer Letters*, *17*(11).

Bocken, N. M., De Pauw, I., Bakker, C., & Van Der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of industrial and production engineering*, *33*(5), 308-320.

Boros, A., Kurdi, R., Lukács, Z. P., Sarkady, A., & Banász, Z. (2021). Opinion of the Hungarian population on the reform of beverage packaging deposit-refund system. *Sustainability*, *13*(11), 6373.

Bortoleto, A. P. (2014). The history of waste. In *Waste Prevention Policy and Behaviour* (pp. 11-29). Routledge.

Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2016). *Handbook of material flow analysis: For environmental, resource, and waste engineers*. CRC press.

Chang, Y. H., Chen, W. C., & Chang, N. B. (1998). Comparative evaluation of RDF and MSW incineration. *Journal of hazardous materials*, *58*(1-3), 33-45.

Chen, D. M. C., Bodirsky, B. L., Krueger, T., Mishra, A., & Popp, A. (2020). The world's growing municipal solid waste: trends and impacts. *Environmental Research Letters*, *15*(7), 074021.

COM (2011) 21 A resource-efficient Europe - Flagship initiative under the Europe 2020 strategy

http://ec.europa.eu/resource-efficient-europe/pdf/resource_efficient_europe_en.pdf

COM (2014) 398 Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe
https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:50edd1fd-01ec-11e4-831f-01aa75ed71a1.0001.01/DOC_1&format=PDF

COM (2015) 614 Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy
https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF

COM (2017) 34 The role of waste-to-energy in the circular economy
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52017DC0034>

Cooper, T. (2008). Challenging the ‘refuse revolution’: war, waste and the rediscovery of recycling, 1900–50. *Historical research*, 81(214), 710-731.

Council Directive 75/442/EEC of 15 July 1975 on waste
<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1975/442/oj>

Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31999L0031>

Council Regulation (EC) No 1267/1999 of 21 June 1999 establishing an Instrument for Structural Policies for Pre-accession
<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/1999/1267/oj>

Council Resolution of 24 February 1997 on a Community strategy for waste management
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31997Y0311%2801%29>

Joshua, J., & Joshua, J. (2017). The environmental effects of overconsumption. *The Economics of Addictive Behaviours Volume IV: The Private and Social Costs of Overeating and their Remedies*, 67-73.

Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological economics*, 143, 37-46.

David, A., & Joel, O. O. (2018). Design and construction of a plastic shredder machine for recycling and management of plastic wastes. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9(5), 1379-1385.

Den Hollander, M. C., Bakker, C. A., & Hultink, E. J. (2017). Product design in a circular economy: Development of a typology of key concepts and terms. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 517-525.

Di Lonardo, M. C., Lombardi, F., & Gavasci, R. (2012). Characterization of MBT plants input and outputs: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 11, 353-363.

Dinu, M., Pătărlăgeanu, S. R., Petrariu, R., Constantin, M., & Potcovaru, A. M. (2020). Empowering sustainable consumer behavior in the EU by consolidating the roles of waste recycling and energy productivity. *Sustainability*, 12(23), 9794.

Decision No. 1386/2013/EU of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013 on a General Union Environment Action Programme to 2020 “Living Well, within the Limits of Our Planet”. Official Journal of the EU, 56, L 354/171. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2013:354:FULL&from=EN>

Decision (EU) 2022/591 of the European Parliament and of the Council of 6 April 2022 on a General Union Environment Action Programme to 2030 <https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2022/591/oj>

Dimova, T. (2020, June). Theoretical and Experimental Study of Drum Electromagnetic Separator for Waste Material. In *2020 21st International Symposium on Electrical Apparatus & Technologies (SIELA)* (pp. 1-4). IEEE.

Directive 2006/12/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2006/12/oj>

Directive (EU) 2018/850 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 1999/31/EC on the landfill of waste (Text with EEA relevance)
<http://data.europa.eu/eli/dir/2018/850/oj>

Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on Waste
<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj/eng>

Directive (EU) 2018/852 of the Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste
<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/852/oj>

Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0076>

Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of The Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>

Ecoprog: The market for mechanical biological waste treatment in Europe
<https://ecoprog.com/publications/report-market-for-mbt-plants-in-europe-2017>

Edo-Alcón, N., Gallardo, A., & Colomer-Mendoza, F. J. (2016). Characterization of SRF from MBT plants: Influence of the input waste and of the processing technologies. *Fuel Processing Technology*, 153, 19-27.

Environment and Energy Operational Programme 2007-2013, CCI number: 2007HU161PO002
https://www.inforse.org/europe/Structuralfunds/SF_docs/SF_KEOP_07_13.pdf

European Investment Bank, (2024). Managing refuse-derived and solid recovered fuels Best practice options for EU countries
<https://www.eib.org/en/publications/20230376-managing-refuse-derived-and-solid-recovered-fuels>

Csóke, B. et al. (2006) Mechanikai-biológiai hulladékkezelés kézikönyve, Profikomp könyvek, Gödöllő

European Union, Treaty Establishing the European Community (Consolidated Version), Rome Treaty, -, 25 March 1957,
<https://www.refworld.org/legal/agreements/eu/1957/en/40087>

European Union, Treaty on European Union (Consolidated Version), Treaty of Maastricht, Official Journal of the European Communities C 325/5; 24 December 2002, 7 February 1992,
<https://www.refworld.org/legal/agreements/eu/1992/en/16882>

European Parliament and Council Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31994L0062>

Feil, A., Pretz, T., Vitz, P., & Thoden van Velzen, E. U. (2017). A methodical approach for the assessment of waste sorting plants. *Waste Management & Research*, 35(2), 147-154.

Gaustad, G., Krystofik, M., Bustamante, M., & Badami, K. (2018). Circular economy strategies for mitigating critical material supply issues. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 24-33.

Gülcan, E., & Gülsoy, Ö. Y. (2018). Evaluation of complex copper ore sorting: Effect of optical filtering on particle recognition. *Minerals Engineering*, 127, 208-223.

Harari, Y. N. (2014). *Sapiens: A brief history of humankind*. Random House.

Huber, F. (2020). Modelling of material recovery from waste incineration bottom ash. *Waste Management*, 105, 61-72.

Khoiron, K., Probandari, A. N., Setyaningsih, W., Kasjono, H. S., Setyobudi, R. H., & Anne, O. (2020). A review of environmental health impact from municipal solid waste (MSW) landfill. *Annals of tropical medicine and public health.*, 23(3), 60-67.

Rózsenszki, T., Koók, L., Bakonyi, P., Nemestóthy, N., & Bélafi-Bakó, K. (2021). Comparative study on anaerobic degradation processes of pressed liquid fraction of organic solid waste. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, 49(1), 31-35.

Kiss, T. (2003) A települési szilárd hulladék szelektív kezelésének módszerei, alkalmazási lehetőségei, Hulladékgazdálkodási Szakmai Füzetek 4.

<http://www.kvvm.hu/szakmai/hulladeggazd/oktatas/szakmaifuzetek/4.PDF>

Kiss T. (2007) Gazdaságosság és rendszerszemlélet a települési szilárd hulladékgazdálkodásban, Doktori értekezés, Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola, Miskolci Egyetem

Kleinhans, K., Hallemans, M., Huysveld, S., Thomassen, G., Ragaert, K., Van Geem, K. M., Roosen, M., Mys, N., Dewulf, J., De Meester, S. (2021). Development and application of a predictive modelling approach for household packaging waste flows in sorting facilities. *Waste Management*, 120, 290-302.

Kratky, L., & Jirout, T. (2020). Modelling of particle size characteristics and specific energy demand for mechanical size reduction of wheat straw by knife mill. *Biosystems Engineering*, 197, 32-44.

Kuehle-Weidemeier M., Langer, U., Hohmann, F., & Butz, W. (2007, May). The current situation of MBT in Germany. In *International Symposium MBT* (pp. 187-202).

Leitol, Cs. (2012). Resource efficiency of Hungarian recycling systems. *Pollack Periodica*, 7(2), 117-127.

Leitol, Cs. (2016). Multi criteria option analysis in the technology design of mechanical-biological treatment of waste. *Pollack Periodica*, 11(2), 75-86.

Malinauskaite, J., Jouhara, H., Czajczyńska, D., Stanchev, P., Katsou, E., Rostkowski, P., ... & Spencer, N. (2017). Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy*, 141, 2013-2044.

Malinowski, M. (2022). Biostabilization process of undersized fraction of municipal solid waste with biochar addition. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 24(6), 2201-2215.

Merahi, A., Hader, A., Bekaddour Benatia, M., Medles, K., & Dascalescu, L. (2020). A new approach for the numerical analysis of an eddy current separator to recover non-ferrous metals from wastes. *International Journal of Environmental Studies*, 77(5), 749-766.

Mokrzycki, E., & Uliasz-Bocheńczyk, A. (2003). Alternative fuels for the cement industry. *Applied Energy*, 74(1-2), 95-100.

MSZ EN 15359:2012 Szilárd újrahasznosítható tüzelőanyagok. Jellemzés és osztályok

MSZ EN 21640:2021 Hulladékból kinyert szilárd tüzelőanyagok. Előírások és osztályok

MSZ 21420-28: 2005, Hulladékok jellemzése. 28. rész: Települési szilárd hulladékok vizsgálata. Mintavétel

MSZ 21420-29:2005 Települési szilárd hulladékok vizsgálata. A minta előkészítése, az anyagi összetétel meghatározása anyagfajták szerinti szétválogatással

Moon, B. Y., Kim, K. H., Kwak, K. H., Kang, G. J., & Hong, C. H. (2008). Dynamic analysis and design of separation screen mechanism in a plant of moisturized wastes. *International Journal of Modern Physics B*, 22(09n11), 1449-1454.

Nagel, J. R. (2018). An analytic model for eddy current separation. *Minerals Engineering*, 127, 277-285.

Nanda, S., & Berruti, F. (2021). Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review. *Environmental chemistry letters*, 19(2), 1433-1456.

Nasrullah, M., Vainikka, P., Hannula, J., Hurme, M., & Kärki, J. (2014). Mass, energy and material balances of SRF production process. Part 1: SRF produced from commercial and industrial waste. *Waste management*, 34(8), 1398-1407.

Orosz, Z., & Fazekas, I. (2008). Challenges of municipal waste management in Hungary. *Acta Geographica Debrecina Landscape & Environment series*, 2(1), 78-85.

Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2021-2027

<https://kormany.hu/dokumentumtar/orszagos-hulladekgazdalkodasi-terv-2021-2027>

Országos Hulladékgazdálkodási Közszolgáltatási Terv 2017 (Cselekvési Terv)

[https://nhkv.hu/wp-](https://nhkv.hu/wp-content/uploads/2013/12/OHKT_felulvizsgalat_2017_NHKV.pdf?dl=1)

[content/uploads/2013/12/OHKT_felulvizsgalat_2017_NHKV.pdf?dl=1](https://nhkv.hu/wp-content/uploads/2013/12/OHKT_felulvizsgalat_2017_NHKV.pdf?dl=1)

Protocol, Kyoto. "Kyoto protocol." *UNFCCC Website*. Available online: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php (accessed on 1 January 2011) (1997): 230-240.

Pinke, M., Deditz, J., & Sarc, R. (2019). Study about plastic sorting and recycling. *Seebenstein, Austria*.

Regulation (EU) No 1300/2013 of the European Parliament and of the Council of 17 December 2013 on the Cohesion Fund and repealing Council Regulation (EC) No 1084/2006

<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2013/1300/oj>

Regulation (EC) No 1013/2006 of the European Parliament and of the Council of 14 June 2006 on shipments of waste

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=celex%3A32006R1013>

Reza, B., Soltani, A., Ruparathna, R., Sadiq, R., & Hewage, K. (2013). Environmental and economic aspects of production and utilization of RDF as alternative fuel in cement plants: A case study of Metro Vancouver Waste Management. *Resources, Conservation and Recycling*, 81, 105-114.

Ritzkowski, M., Heerenklage, J., & Stegmann, R. (2006). An overview on techniques and regulations of mechanical-biological pre-treatment of municipal solid waste. *Environmental Biotechnology*, 2(2), 57-68.

Rylander, H., & Lagerkvist, A. (2024). From dumping to circular economy: There is no success like failure. *Waste Management & Research*, 0734242X231221084.

Sarkady, A., Dióssy, L., Yuzhakova, T., Kurdi, R., Utasi, A., & Rédey, Á. (2013). INDUSTRIAL AND COMMUNAL SUSTAINABLE WASTE MANAGEMENT IN HUNGARY. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 12(8).

Sarkady, A., & Kurdi, R. (2015). Waste to energy in Hungary: new trends in the North-Balaton Regional Waste Management System of Hungary. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 206, 287-294.

Sarkady, A., Kurdi, R., Morvai, B., & Leitold, C. (2015b). Diverting Municipal Solid Waste from landfill: new methods in Hungarian waste management. *Energy and Sustainability V: Special Contributions*, 206, 303.

Sarkady, A., Egedy, A., Kurdi, R., & Tóth, E. (2024). Towards a Circular Economy—Changing Needs and Solutions for Waste Management Systems. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, 52(1), 45-53.

Siddiqua, A., Hahladakis, J. N., & Al-Attiya, W. A. K. (2022). An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(39), 58514-58536.

Sigmund, U., Jones, P. T., & Machiels, L. (2018, February). Sorting with ballistic separators. In *4th International Symposium on Enhanced Landfill Mining. Mechelen* (pp. 89-94).

Spani, R. C. (2020). The new circular economy action plan. *FEEM Policy Brief*, (09-2020).

Straka, M., Khouri, S., Rosova, A., Caganova, D., & Culkova, K. (2018). Utilization of computer simulation for waste separation design as a logistics system. *International Journal of Simulation Modelling*, 17(4), 583-596.

Tickner, J., Geiser, K., & Baima, S. (2021). Transitioning the chemical industry: the case for addressing the climate, toxics, and plastics crises. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 63(6), 4-15.

Towa, E., Zeller, V., & Achten, W. M. (2020). Input-output models and waste management analysis: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119359.

Trica, C. L., Banacu, C. S., & Busu, M. (2019). Environmental factors and sustainability of the circular economy model at the European Union level. *Sustainability*, 11(4), 1114.

Tóth, E., Bobek-Nagy, J., & Kurdi, R. (2023). Investigation of Regional Differences in the Organic Fraction of Municipal Solid Waste in Hungary. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, 51(1), 61-66.

United Nations Department of Economic and Social Affairs (2024). The Waste Crisis: Accelerating National to Local Policy Action. Evidence-based strategies for sustainable solutions.

Publikációk listája

1. Sarkady, A., Egedy, A., Kurdi, R., & Tóth, E. (2024). Towards a Circular Economy—Changing Needs and Solutions for Waste Management Systems. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, 52(1), 45-53.
2. Bárkányi, Á., Egedy, A., Sarkady, A., Kurdi, R., & Abonyi, J. (2022). Expert-Based Modular Simulator for Municipal Waste Processing Technology Design. *Sustainability*, 14(24), 16403.
3. Boros, A., Kurdi, R., Lukács, Z. P., Sarkady, A., & Banász, Z. (2021). Opinion of the Hungarian population on the reform of beverage packaging deposit-refund system. *Sustainability*, 13(11), 6373.
4. Rózsenberszki, T., Koók, L., Bakonyi, P., Nemestóthy, N., Logroño, W., Pérez, M., Urquizo, G., Recalde, C., Kurdi, R., Sarkady, A. (2017). Municipal waste liquor treatment via bioelectrochemical and fermentation (H₂+ CH₄) processes: Assessment of various technological sequences. *Chemosphere*, 171, 692-701.
5. Sarkady, A., Kurdi, R. (2015) Waste To Energy In Hungary: New Trends In The North-Balaton Regional Waste Management System Of Hungary In: Al-Kayiem H H, Brebbia C A, Zubir S S (szerk.) *Energy and Sustainability V: Special Contributions*. Konferencia helye, ideje: Kuala Lumpur, Malajzia, 2014.12.16-2014.12.18. Southampton; Boston: WIT Press, 2015. pp. 287-294. (ISBN:978-1-78466-095-6)
6. Sarkady, A., Kurdi, R., Morvai, B., Leitold, Cs. (2015) Diverting Municipal Solid Waste from Landfill: New Methods in Hungarian Waste Management, In: Al-Kayiem H H, Brebbia C A, Zubir S S (szerk.) *Energy and Sustainability V: Special Contributions*. Konferencia helye, ideje: Kuala Lumpur, Malajzia, 2014.12.16-2014.12.18. Southampton; Boston: WIT Press, 2015. pp. 303-314. (ISBN:978-1-78466-095-6)

7. Rózsenberszki, T., Koók, L., Hutvágner, D., Nemestóthy, N., Bélafi-Bakó, K., Bakonyi, P., Kurdi, R., Sarkady, A. (2015). Comparison of anaerobic degradation processes for bioenergy generation from liquid fraction of pressed solid waste. Waste and biomass valorization, 6, 465-473.
8. Sarkady, A., Kurdi, R., & Rédey, Á. (2014). RDF—refuse derived fuel, possibilities in the North-Balaton Regional waste management system. Pollack Periodica, 9(Supplement-1), 23-30.
9. Sarkady, A., Yuzhakova, T., Dióssy, L., Kurdi, R., & Rédey, Á. (2013). NEW TRENDS IN COMMUNAL WASTE MANAGEMENT AT THE REGIONAL LEVEL: WASTE TREATMENT PLANTS IN HUNGARY AND PRACTICAL APPLICATIONS. Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ), 12(8).
10. Sarkady, A., Dióssy, L., Yuzhakova, T., Kurdi, R., Utasi, A., & Rédey, Á. (2013). INDUSTRIAL AND COMMUNAL SUSTAINABLE WASTE MANAGEMENT IN HUNGARY. Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ), 12(8).

Mintaoltalom

Aktaszám: 137139-3046 EV/E/MGP
Tárgy: Használati mintaoltalmi bejelentés száma: U2300217
Bejelentés címe: Hulladékkezelő rendszer vegyesen gyűjtött lakossági hulladék szétválogatására
Dátum: Budapest, 2024. március 26.
Jogosult: Pannon Egyetem
Benyújtó: Sarkady Attila, Kurdi Róbert, Kertai László

Konferencia előadás megjelenéssel:

1. Sarkady Attila, Egedy Attila, Kurdi Róbert: Úton a körforgásos gazdaság felé - változó igények és megoldási javaslatok a hulladékgazdálkodási rendszerek kapcsán (Towards a circular economy - changing needs and proposed solutions for waste management systems) - Előadás
MŰSZAKI KÉMIAI NAPOK Veszprém, Veszprém 2023. április 18-20.
https://mkn.uni-pannon.hu/images/MKN23_program_eM_20230411_copy.pdf
2. Sarkady Attila, Bárkányi Ágnes, Egedy Attila, Kurdi Róbert: Moduláris szimulátor fejlesztése a települési csomagolási hulladék feldolgozási technológiájához (Development of a modular simulator for municipal packaging waste processing technology) – Előadás
MŰSZAKI KÉMIAI NAPOK Veszprém, 2022. április 26-28
https://mkn.uni-pannon.hu/images/50.MKN_program_eM_web.pdf
3. Sarkady, A. Hulladékgazdálkodási projekt az Észak-balatoni térségben „HULLADÉKBÓL HASZON” szakmai konferencia Innovatív megoldások a hulladékgazdálkodásban
2012. június 5. kedd, 09:30 Pannon Egyetem Veszprém, Egyetem u. 10. Konferenciaterem (B épület, 2. em.)

Poszter

1. J. Bobek-Nagy, E. Tóth, F. Róbert, K. Berta, A. Sarkady R. Kurdi „OFMSW as a potential secondary raw material for chemical recycling” – August 27, 2023, 15th European Congress on Catalysis. Prague, Czech Republic
2. Sarkady, A. Szent-Györgyi Albert Konferencia “Szelektív hulladékválogatás technológiai műveleteinek moduláris szimulációja” - 2021. április 17. Poszter csatorna

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek *dr. Kurdi Róbertnek*, aki motivált a doktori programban való részvételre, valamint munkám során nyújtott folyamatos támogatásért, szakmai mentorálásáért. *Dr. Egedy Attilának*, aki felkérésemre társtémavezetőként csatlakozott és elvállalta, hogy szakmai tapasztalatával segítse munkám.

Köszönettel tartozok a Pannon Egyetem Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki Kutató-Fejlesztő Központ, Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratórium munkatársainak munkám támogatásáért.

Köszönettel tartozom *dr. Leitöl Csabának* a sok éves szakmai kapcsolatért és konzultációkért.

Családomnak különös tekintettel feleségemnek *Márton Annamáriának* a türelméért és támogatásáért.

Mellékletek

I. sz. melléklet – DRS kutatási változók

Válaszváltók (A)

Névleges skálán mérhető változók:

- A1. Véleménye szerint a háztartási behajtást segítené-e egy visszaváltási díj vásárláskor kellett fizetni az üzletben, amit visszakapsz amikor az üres üvegeket és dobozokat beváltották? (a mennyiségétől függ visszaváltási díj, nem, csak részben, többnyire igen, teljesen)
- A2. Melyik visszaváltási módot támogatja? (automata beváltási gépek, személyes jelenléttel igénylő beváltási pontok)
- A3–9. Ha beváltási gépeket telepítenek, fel kell őket állítani a következő helyszínek?
(Igen, Nem)
 - A3. Bevásárlóközpontokban/bevásárlóközpontokban
 - A4. Áruházakban (Tesco, Auchan, . . .)
 - A5. Benzinkutak
 - A6. A nagyobb tömegközlekedési csomópontokban
 - A7. Nagyobb köz- és oktatási intézményekben
 - A8. Élelmiszer kiskereskedelmi egységekben
 - A9. Drogériákban, gyógyszertárakban
- A10. Hogyan kapnád legszívesebben a visszaváltásért kapott pénzt? (beváltáskor beváltható utalványban; készpénzben; okostelefonos alkalmazáson keresztül bankszámlára; bárhol felhasználható bolti kártyán)
- A11. Ön szerint be kell-e vezetni a visszaváltási rendszert akkor is, ha a gyártók ennek költségét beleszámolták a termék árába? (nem, egyáltalán nem; igen, mert hosszú távon jól teszünk a környezetünkkel, és végül visszakapom a különbözetet, ha visszaviszem az üveget/dobozt)
- A12. Elfogadhatónak tartja-e, hogy a vásárolt termékek ára mérsékelten emelkedjen a visszaváltási rendszer fenntartása érdekében? (nem, a környezetvédelmi célok ellenére nem tartom elfogadhatónak az áremelést; igen, mert hosszú távon a környezet védelmét szolgálja, és a különbözetet visszakapom, ha kicserélem a palackot/dobozt)

A13. Ha bevezetik a visszaváltási díjat, az alábbi állítások közül melyik lenne a leginkább igaz Önre? (Maradnék a jelenleg vásárolt termékeknél, és beváltom a palackok; Maradnék a most vásárolt termékeknél, de nem váltanám vissza az üvegeket; megvenném az olcsóbbat; Ehelyett egy hasonló terméket választanék vissza nem váltható csomagolással, ha van ilyen)

Ordinális skálán mérhető változók:

A14. Összeszednéd a csomagolást a háztartásodban, ha az állam fizetné a visszaváltását? (1: nem, 2: attól függ, hogy mennyit fizet érte, 3: igen)

A15. Ha a visszaváltási díjas terméket a vásárlás során visszavisszük a megszokott üzletbe, visszaküldenéd a visszaváltási díj fejében? (1: nem érdekel ez a kérdés, 2: nem venném vissza és nem gyűjteném szelektíven, 3: nem venném vissza, használnám a szelektív gyűjtést, 4: azt a visszaváltási díj mértékétől és a visszaváltási pont helyétől függ, 5: igen)

A16. Visszaváltási rendszeren keresztül történő beszedés esetén mekkora összegű visszaváltási díj ellenében (Ft: magyar forint) lenne hajlandó a kiürített italcsomagolást a visszaváltási pontra vinni és visszaváltani? (1: 10-20 Ft, 2: 20-30 Ft, 3: 30-40 Ft, 4: 40-50 Ft, 5 felett: 50 Ft)

Lehetséges magyarázó változók (B)

Névleges skálán mérhető változók:

- B1. Nem (férfi, nő)
- B2. Lakóhely (megye)
- B3–7. Az alábbiak közül melyiket sorolja a három legfontosabb közé? (Igen Nem)
- B3. Folyók, tavak, természetvédelmi területek szennyezése.
- B4. Az eldobható műanyag eszközök jelentős száma.
- B5. Az áruk túlzott csomagolása.
- B6. A szemétkerakók kis száma.
- B7. Félrevezető információk az újrahasznosításról.
- B8. Ön szerint mi okozza ma a legjelentősebb szennyezést Magyarországon? (illegális lovtalanításból származó italos palackok/dobozok; illegálisan lerakott állati hulladék; illegálisan lerakott építési/bontási hulladék; illegálisan kezelt zöldhulladék)
- B9–14. A háztartásában kiürített üvegcsomagolást általában az alábbi helyeken helyezi el (Igen Nem)
 - B9. Élelmiszerboltokban vagy a közelben az üveghulladékban
 - B10. Szemétygyűjtő sziget
 - B11. A szemételepre
 - B12. Szelektív szemét a háztartásomban
 - B13. nem gyűjtöm szelektíven; A vegyes szemétbe tettem
 - B14. Nem veszek ilyen terméket
- B15. Melyik megoldást tartja a leginkább környezetbarátnak? (szelektív gyűjtés (beváltási rendszer); szelektív gyűjtés (otthon, gyűjtősziget); vegyes hulladékba helyezés)

Ordinális skálán mérhető változók:

- B16. Visszaküldi a használt üres palackokat, vagy a háztartás egy másik tagja viszi vissza az üzletbe? (1: nem termelünk ilyen hulladékot, 2: nem, mert nem éri meg, 3: alkalmanként igen, 4: igen, mindig)
- B17. Lakóhely – a település típusa (1: egyéb területi lehatárolások, 2: község, 3: nagyközség, 4: város, 5: megyei jogú város, 6: főváros)

B18. Végzettség (1: általános iskola, 2: középiskola, 3: felsőoktatásban tanuló, 4: főiskola/egyetem, 5: posztgraduális)

B19. Mennyire tartja fontosnak a környezetvédelmet? (1: nem túl fontos, 2: inkább fontos, 3: nagyon fontos)

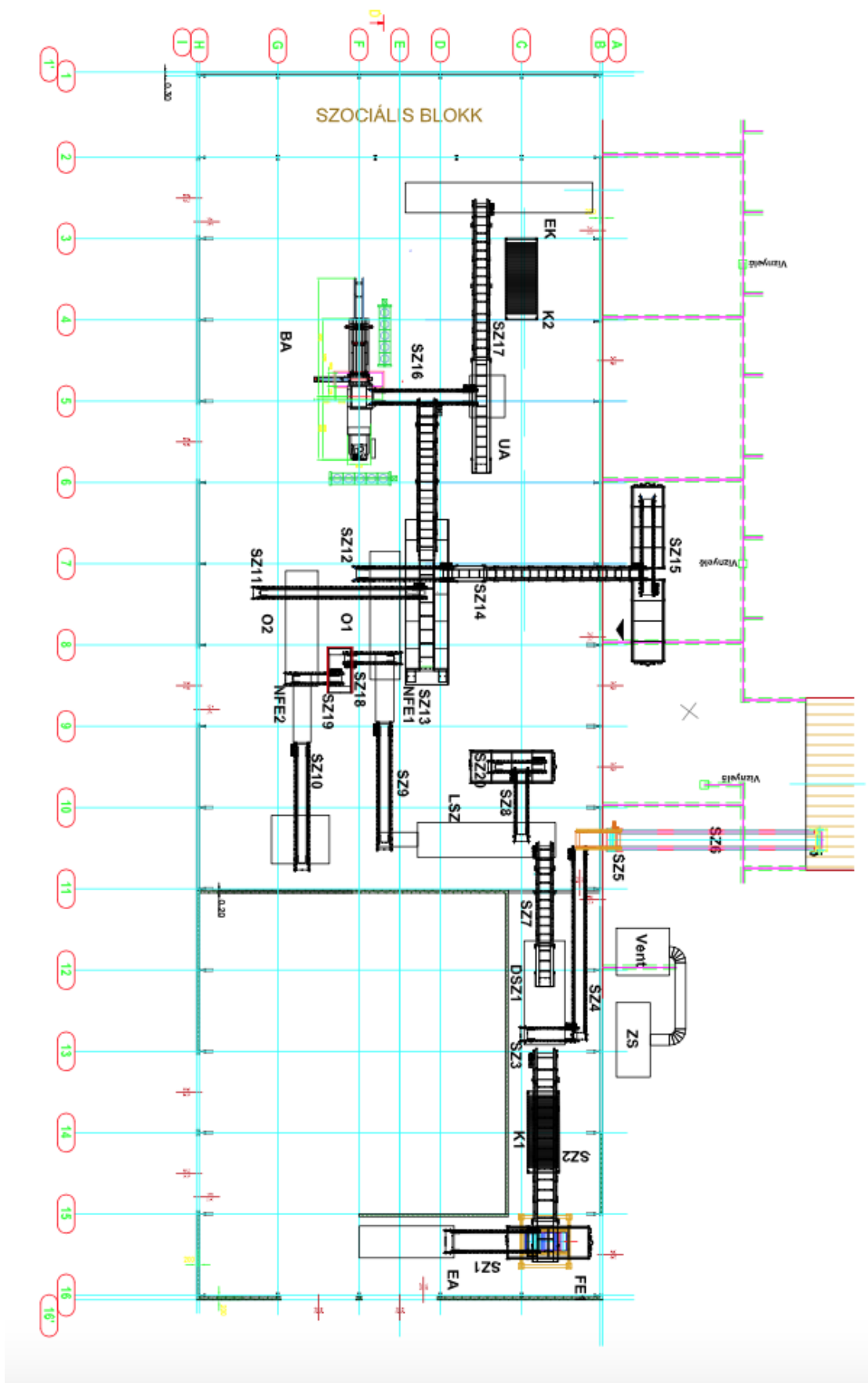
B20. Egyetért-e Ön azzal, hogy Magyarországon csökkenteni kell a lerakott hulladék mennyiségét, és amennyire csak lehetséges, újrahasznosítani kell? (1: nem, 2: részben, 3: teljesen)

B21. Milyen messzire lennél hajlandó gyalogosan utazni otthonodtól, hogy a kiürült palackokat, dobozokat egy gyűjtőhelyre vigye? (1: 100 m-ig, 2-ig: 300 m-ig, 3-ig: 500 m-ig, 4: 500 m-ig, 5: Nem számít, mert én vezetek)

B22. Hetente átlagosan hány italt vásárol műanyag vagy üveg palackban vagy fémdobozban (PET, üveg, alumínium)? (1: nincs darab 2: 1–3, 3: 3–6, 4: 6–10, 5: 10 felett)

B23. Véleménye szerint környezeti fenntarthatósági szempontból előnyösebb-e a hulladék újrahasznosítása vagy hasznosítása, mint a lerakás? (1: egyáltalán nem, 2: talán, 3: egyértelműen igen)

II. sz. melléklet – MBH terve



III. sz. melléklet – Használati mintaoltalom



SZELLEMI TULAJDON NEMZETI HIVATALA

1081 Budapest, II. János Pál pápa tér 7. • 1438 Budapest, Pf. 415.

Telefon: 312 4400 • Telefax: 331 2596

Adószám: 15311746242 SZJ 15 Közigazgatás



**DANUBIA Szabadalmi és Jogi Iroda
Kft.**

Budapest
Bajcsy-Zsilinszky út 16.
1051

Ügyiratszám:

U2300217 /6

Ügyintéző:

Tóth Barnabás

Lajstromszám: **5 748**

Tárgy: Használati mintaoltalom megadása

H A T Á R O Z A T

A használati minta címe:

Hulladékkezelő rendszer vegyesen gyűjtött lakossági hulladék szétválogatására

A bejelentés napja és az oltalmi idő kezdete: 2023. december 13.

A mintaoltalom jogosultja:

Pannon Egyetem, Veszprém

Képviselő:

DANUBIA Szabadalmi és Jogi Iroda Kft.

A használati minta NSZO-jelzetei:

B03C 1/02 B07B 7/00 B09B 3/60 B07B 1/18

A Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala a használatiminta-oltalmi bejelentés tárgyára 37150/23 iktatószámú leírással, 37150/23 iktatószámú igénypontokkal, valamint 37150/23 iktatószámú rajzzal mintaoltalmat ad.

Az 1. évi fenntartási díj összege 24900 Ft, amely e határozat jogerőre emelkedésétől számított hat hónapos türelmi időn belül fizethető meg.

A további évi fenntartási díjak a bejelentés napjának megfelelő naptári napon előre esedékesek, amelyeket az esedékességtől számított hat hónapos türelmi idő alatt is meg lehet fizetni.

A fenntartási díjak a hat hónapos türelmi idő első három hónapjában pótlékmentesen, a negyedik hónapjától pedig 50 százalékos pótlékkal együtt fizethetők meg.



13848870

AU005748.AMX 24.03.22:01:43

U2300217/6

1 / 3

Az előírt fenntartási díjat a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatalának a Magyar Államkincstárnál vezetett 10032000-01731842-00000000 számú előirányzat felhasználási keretszámlájára kell megfizetni banki átutalással vagy postai készpénzáttalalási megbízás útján, a közlemény rovatban fel kell tüntetni a befizetéshez tartozó azonosítási adatokat (ügyszám, vagy lajstromszám) és a befizetés jogcímét (fenntartási díj).

E döntés megváltoztatását - a kézbesítéstől számított 30 napon belül - a Fővárosi Törvényszéktől lehet kérni. A bíróság előtti eljárásban a jogi képviselő kötelező. A kérelem a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatalánál nyújtható be, a bírósági eljárásért 10 500 Ft illetéket kell fizetni.

Az illetéket a kérelem Hivatalhoz történő benyújtásával egyidejűleg átutalással kell megfizetni a Magyar Államkincstárnál vezetett, 10032000-01012891 jelzőszámú "SZTNH jogorvoslati illeték központi beszedési számla" elnevezésű számlára. A közleményrovatban fel kell tüntetni az eljáró bíróság kódját (Fővárosi Törvényszék kódja: 0100) és az eljárási illeték megfizetésére kötelezett fél nevét, továbbá a Hivatal előtti ügy ügyszámát és azon határozat vagy intézkedés alszámát, amely okán az illetékfizetési kötelezettség keletkezett.

A bírósági eljárási illeték átutalással történő megfizetésének tényét a Hivatal ellenőrzi, így a zökkenőmentes ügyintézésért elősegíti, ha az illeték átutalásáról szóló bizonylatot - az elektronikus úton benyújtott megváltoztatási kérelemhez mellékként csatolva - megküldik a Hivatal részére.

INDOKOLÁS

A minta és a használatiminta-oltalmi bejelentés megfelel a használati minták oltalmáról 1991. évi XXXVIII. törvényben(Hmtv.) előírt, a vizsgálat körébe tartozó valamennyi követelménynek, ezért a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala(SZTNH) a Hmtv. 36. § (5) bekezdése alapján a rendelkező rész szerint döntött.

A használati minták oltalmáról szóló 1991. évi XXXVIII. törvény 37. § (13) bekezdése alapján alkalmazni rendelt, a találmányok szabadalmi oltalmáról szóló 1995. évi XXXIII. törvény 94/A. §-a szerint a bíróság előtti eljárásban a jogi képviselő kötelező, ideértve a jogorvoslati eljárásokat is. A megváltoztatási kérelem ezért csak jogi képviselő közreműködésével terjeszthető elő, amelynek hiányában a Fővárosi Törvényszék a megváltoztatási kérelmet - hiánypótlási felhívás nélkül - visszautasítja.

A megváltoztatási kérelmet papíron vagy elektronikus úton lehet benyújtani a Hivatalhoz. Elektronikus ügyintézés esetén a megváltoztatási kérelmet a Hivatal honlapján üzemeltetett elektronikus ügyintézési rendszeren keresztül, a Hivatal által erre rendszeresített űrlap használatával kell előterjeszteni.

Budapest, 2024. március 22.
(Tértivevénnyel)

Dr. Dénes Ferenc



13848870

AU005748.AMX 24.03.22:01:43

U2300217/6

2 / 3