



DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

TRENYIK TAMÁS

**KAPOSVÁRI EGYETEM
GAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR**

2019.





KAPOSVÁRI EGYETEM
GAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR
Módszertani Intézet

A doktori iskola vezetője
PROF. DR. FERTŐ IMRE egyetemi tanár

Témavezető
DR. HABIL. CSUKÁS BÉLA egyetemi docens

A TELEPÜLÉSI HULLADÉK BEGYŰJTÉS ÉS A
KAPCSOLÓDÓ ELVÁLASZTÁSI LÁNCOK
FOLYAMATMODELL BÁZISÚ ÉRTÉKELÉSE

Készítette

TRENYIK TAMÁS

KAPOSVÁR
2019.

DOI: 10.17166/KE2020.002





Tartalom

1. Bevezetés	7
2. Szakirodalmi áttekintés.....	9
2.1 Az érvényben lévő hulladékgazdálkodási célok bemutatása	9
2.2 A települési hulladék jellemzése.....	13
2.2.1 A települési hulladék definíciója	13
2.2.2 A települési hulladék mennyisége	15
2.2.3 A települési hulladék összetétele	17
2.3 Technológiai lehetőségek és azok költségei	21
2.3.1 Az újrahasznosításból származó előnyök.....	22
2.3.2 Optimalizálási törekvések.....	25
2.3.3 Hulladékgyűjtő rendszerek szakirodalmi áttekintése	27
2.3.4 Hulladékkezelési rendszerek szakirodalmi áttekintése.....	36
3. Célkitűzés	40
4. Adatok és módszerek.....	41
4.1 A hazai hulladékbegyűjtő és -hasznosító közszolgáltatás felépítése...	41
4.2 A dolgozatban felhasznált adatok	44
4.2.1 A lakossági hulladék mennyiségére és összetételére vonatkozó kiindulási adatok.....	44
4.2.2 A begyűjtésre és előkezelésre vonatkozó technológiai és gazdasági adatok.....	47
4.3 Folyamathálózatok modellezése a Programozható Struktúrák módszerével	58
5. Eredmények és értékelésük	61
5.1 Egy tipikus településrendszer lakossági hulladékának meghatározása	61



5.2 A begyűjtési és előkezelési technológiák rendszerezett áttekintése	65
5.2.1 Begyűjtési és szállítási lehetőségek	65
5.2.1.1 A hulladék ingatlan által történő átadása	65
5.2.1.2 A szelektálás mértéke.....	72
5.2.1.3 Gyűjtési gyakoriság.....	73
5.2.1.4 A modell mintaterületének távolsága a kezelőközponttól	74
5.2.1.5 A gyűjtési úthossz meghatározása házhoz menő gyűjtésnél..	75
5.2.1.6 A gyűjtési idő meghatározása házhoz menő gyűjtésnél.....	77
5.2.1.7 A gyűjtési idő és út meghatározása gyűjtőpontos jellegű begyűjtésnél	77
5.2.1.8 A hulladék szállításának módjai	77
5.2.1.9 A kétfázisú begyűjtés lehetősége	79
5.2.1.10 A modellben alkalmazott szállításhoz kapcsolódó adatok...	82
5.2.1.11 A begyűjtés költségei	83
5.2.2 Előkészítési és elválasztási lehetőségek.....	85
5.2.2.1 Regionális léptékű kezelés	85
5.2.2.2 Lokális kezelés	87
5.2.2.3 A válogatott hulladékok szállítása	91
5.2.2.4 A kezelés költségei.....	92
5.2.2.5 A rendszer bevételei.....	93
5.2.3 A folyamathálózat tárolási és feldolgozási elemeinek rendszerezése	94
5.3 A lehetséges folyamathálózatok leírása	96
5.4 A teljes folyamatmodell paraméterezése és generálása	99
5.5 Példamegoldások szimulációja és elemzése	104
5.6 A megoldások automatikus generálása és egyszerűsített értékelése..	113
6. Következtetések és javaslatok.....	119



6.1 A szakirodalom tanulmányozása alapján levont következtetések és javaslatok	119
6.2 A modellkészítést megalapozó, rendszerező gondolkozás alapján levont következtetések és javaslatok	121
6.3 A folyamatmodell kipróbálása alapján levont következtetések és javaslatok	123
7. Új illetve újszerű tudományos eredmények	125
8. Összefoglalás	126
9. Summary.....	128
10. Irodalomjegyzék	130
11. A disszertáció témaköréből megjelent publikációk.....	144
12. Szakmai önéletrajz.....	145



A dolgozatban előforduló rövidítések

NHKV	Nemzeti Hulladékgazdálkodási Koordináló és Vagyonkezelő Zártkörűen Működő Részvénytársaság
HKI	Hulladék Keretirányelv
HT	2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról
OHKT	Országos Hulladékgazdálkodási Közszolgáltatási Terv
PAYT	a termelt mennyiség alapján számolt hulladékdíj
GHG	üvegházhatású gáz
m/m%	tömegszázalék
GWP	global warming potential – globális felmelegedés-faktor
EPS	expandált polisztirolhab (hungarocell)
MH	mechanikai hulladékkezelő mű
MBH	mechanikai-biológiai hulladékkezelő mű
RDF	másodlagos tüzelőanyag (refuse derived fuel)



1. Bevezetés

A modern társadalom életszínvonala fenntartása során jelentős mennyiségű anyagi erőforrást használ fel, miközben nagy mennyiségű hulladék keletkezik. Az erőforrás-korlátos földi ökoszisztéma fenntartása, a természeti erőforrásokkal való takarékoskodás és azok elszennyeződésének megelőzése érdekében a hulladékkal való tudatos gazdálkodás egyre fontosabbá válik.

A korábban állami szinten kezelt problémákat jelenleg az Európai Unió uniformizált célokat tartalmazó rendszerében kell megoldani. Egy 2008-as irányelv (EK, 2008.) határozta meg az elérendő célokat. Ennek évekig tartó felülvizsgálata után 2018-ban elfogadásra került a körforgásos gazdaságra vonatkozó jogszabály. A jelenlegi magyar előírásokat a Hulladék törvény (2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról, 2012.) tartalmazza.

A hatályos rendelkezések lényeges eleme, hogy 2020-ig a települési hulladék hasznosítható összetevőinek 50%-a újrahasználatra való előkészítésre vagy újrafeldolgozásra kell, hogy kerüljön. A körkörös gazdasági csomag előírásai ezt a mértéket megduplázzák 2025-re (a települési hulladék egészének 50%-os újrahasznosítását írják elő).

Az érintett frakciók elkülönített gyűjtése évek óta folyik Magyarországon, azonban az eddig elért eredmények elmaradtak még a jelenlegi célkitűzéstől is. Jelentős változás történt 2015-ben, hiszen a szelektív gyűjtés minden településen kötelezővé vált, valamint a házhoz menő szelektív gyűjtés lett az alapvető begyűjtési mód.

A házhoz menő gyűjtés valóban látványos eredményeket hozott a begyűjtött mennyiségek terén, ám az is jól látható, hogy ennek hatékonysága (pl. gépjármű-kihasználtság, költséghatékonyság stb.) nem minden esetben, területen, településszerkezetben megfelelő. A környezettudatosság és a gazdaságosság az elmúlt években megszokott, önálló közszolgáltatói rendszerben is versengett egymással. A hulladékgazdálkodási közszolgáltatás 2016-os nemzeti szintű koordinálásának bevezetése óta a finanszírozási kérdések immár centralizáltan és kumuláltan az NHKV Zrt.-nél jelentkeznek. Rendkívül fontos, hogy a kitűzött szelektív begyűjtési célok teljesüljenek, azonban a költségek szempontjából is meg kell vizsgálni a gyűjtési módok különböző változatait. A házhoz menő gyűjtés több verziója mellett modellek



segítségével tanulmányozni kell a jelenleg kevésbé alkalmazott (vagy nem alkalmazható) alternatívákat is, hogy teljes áttekintést kapjunk az egyes módszerekről.

Jelen munka a települési hulladék gyűjtési és előkezelési alternatíváinak rendszerezésére és elemzésére irányult. Megvizsgáltam a közszolgáltatás jelentős hulladékáramainak mennyiségét, összetételét, gyűjtési szükségleteit, valamint a szelektíven gyűjtött hulladékok mennyiségét. Elemeztem a különböző hulladékfajták gyűjtési és előkezelési szempontból szóba jöhető technológiai sémáit, valamint egy tipikus összetett gyűjtési és elválasztási lehetőségeit. Bemutattam egy olyan módszert, amely segíti az alternatív megoldások számítógéppel támogatott generálását és értékelését.

Jelen értekezés keretében a szakirodalmi ismeretek, a törvényi szabályozás és saját tapasztalataim alapján módszert dolgoztam ki a gyűjtési és elsődleges feldolgozási (elválasztási) alternatívák rendszerezésére. A folyamatmodellezést is megalapozó rendszerezés alapján a kutatócsoport segítségével kísérletképpen kipróbáltam a Programozható Struktúrák alkalmazását. Az egyszerűsített adatrendszerrel folytatott eredményes tesztelés azt jelzi, hogy az alkalmazott folyamatmodellezés ígéretes eszköz lehet a problémakör részletes elemzésére és a jövőbeli döntések támogatására. Célszerű lenne a munkát további PhD és posztgraduális kutatások keretében folytatni.



2. Szakirodalmi áttekintés

Mivel a természeti erőforrások kapacitása hosszú távon kisebb, mint az emberiség által felhasznált mennyiség, rendkívül lényeges az erőforrás-hatékony társadalom felépítése. Európai példák mutatják az erőforrás felhasználás csökkentésének realitását. A termelékenység növekedéséhez jelentős mértékben hozzá tud járulni a hulladékgazdálkodás az újrahasznosítási arányok növelése által. (Pomázi, 2013)

2.1 Az érvényben lévő hulladékgazdálkodási célok bemutatása

Az 1997-2006 időszakban az Unió 499 kg/fő/év települési hulladéktermelése 524 kg/fő/évre emelkedett. 2006 és 2008 között a települési hulladéktermelés mennyiségileg stagnált¹. Az újrafeldolgozás szintje azonban nőtt és 2008-ban 38-40% körül alakult. (COM (2010) yyy final, 2010) (COM (2011) 13 Bizottsági jelentés, 2011). Innen nézve jó hírként is felfogható, hogy 2017-ben mindössze 486 kg/fő/év települési hulladékot termelt az EU (Görögország, az Egyesült Királyság és Írország adatai nem álltak rendelkezésre). Az újrahasznosítás és komposztálás aránya 2017-ben 47% volt. (Eurostat, 2019.)

A hulladékgazdálkodási célok összefoglalása előtt szükséges a különböző hulladéktípusok egyértelműsítése. A dolgozat témája a települési hulladék. Ez a csoport magába foglalja a háztartási és a háztartáshoz hasonló szilárd hulladékot. Az EU-ban évtizedes definíciós fejlődés eredménye a fenti két hulladéknak² a HT-ben jelenleg meglévő meghatározása, ami szerint:

- a háztartási hulladék a háztartásokban képződő
 - vegyes hulladék,
 - elkülönítetten gyűjtött hulladék és

¹ Összehasonlításképpen ez az érték az USA-ban 750 kg/fő/év, Japánban 400 kg/fő/év, Kína fejlett részén pedig 444 kg/fő/év.

² A csomagolási hulladék részben a települési hulladék egy részét alkotja, részben ipari forrásból kerül begyűjtésre. A különböző mennyiségek meghatározása a HAK-besorolás alapján lehetséges, ez azonban jelenleg nehézkes és bizonytalan. A jogszabályalkotó 2020-ban törvénymódosítással kívánja tisztázni ezt a kérdést.



- lomhulladék.
- háztartási hulladékhoz hasonló hulladék a háztartáson kívül képződött, de jellegében és összetételében ahhoz hasonló
 - vegyes hulladék és
 - elkülönítetten gyűjtött hulladék.

A jelenleg hatályos 98/2008/EK keretirányelvben kitűzött hasznosítási célok, melyek a települési hulladék újrahasználatához és újrafeldolgozásához kapcsolódódtak, a következők:

- 2015-ig meg kellett szervezni legalább a következő frakciók elkülönített gyűjtését: papír, fém, műanyag és üveg;
- 2020-ig az újrahasználatra való előkészítést és az újrafeldolgozást a háztartási és ahhoz hasonló hulladékáramokból származó papír, fém, műanyag és üveg frakciók tekintetében tömegében minimum 50%-ra kell növelni.

Lényeges a fenti előíráshoz bizonyos fogalmak egységes értelmezése, melyet a HKI (és annak alapján a magyar törvény) meg is fogalmazott: az újrahasználat olyan művelet, amelynek révén a hulladéknak nem minősülő terméket vagy alkatrészét újra használják arra a célra, amelyre eredetileg szolgált. Az újrahasználatra való előkészítés olyan hasznosítást előkészítő műveleteket jelent, mint pl. tisztítás, javítás, ellenőrzés. Ezek során a hulladékká vált terméket vagy alkatrészét előkészítik arra, hogy bármilyen egyéb előkezelés nélkül újrahasználható legyen (2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról, 2012.).

Újrahasználatról tehát csak a még hulladékká nem vált termékek esetében beszélhetünk. Amennyiben az anyag vagy termék hulladékká vált, akkor az újrafeldolgozás eredményeképpen is kiléphet a hulladéksorból. A Hulladék törvény definíciója értelmében az újrafeldolgozás olyan hasznosítási műveleteket jelent, melynek során a hulladékot terméké vagy anyaggá alakítják, akár annak eredeti használati céljára, akár más célokra. Ez magában foglalja a szerves anyagok feldolgozását, de nem tartalmazza az energetikai hasznosítást és az olyan anyaggá történő feldolgozást, amelyet feltöltési műveletek során használnak fel (2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról, 2012.).



A nyersanyag-visszanyerés érdekében a lehető legjobb hulladékgazdálkodási rendszer kiépítése szükséges. Ugyanakkor ennek kialakításánál figyelembe kell venni a műszaki és gazdasági megvalósíthatóságot is (nem csak a hulladékhierarchiát³). A szabályozás terén nagyon lényeges meglátás, hogy egyszerűsíteni szükséges a kisméretű létesítményeket és vállalkozásokat érintő engedélyezési és nyilvántartásba vételi követelményeket. Ennek az alapelvnek a valódi alkalmazása jelentős előrelépést jelenthetne a lokális és kistérségi megoldások elterjedésében (EK, 2014.)

A mind nagyobb mértékű anyagkörforgás megvalósítása és a rendszerek gazdasági eredményessége (vagy minél alacsonyabb közszolgáltatási díjakon történő üzemeltetése) rendkívül fontos.

A HKI célok felülvizsgálatának eredményeképpen a Bizottság 2015. december 2-án nyilvánosságra hozta a körkörös gazdaságra vonatkozó cselekvési tervét (Európai Bizottság, 2015.).

Ez a cselekvési terv is kulcsfontosságú hulladékáramnak azonosítja a települési hulladékot és a csomagolási hulladékot. Az anyag egyértelművé teszi, hogy a magas színvonalú újrafeldolgozás arányának emelése érdekében fejlesztésekre van szükség a hulladékgyűjtés és válogatás területén.

A javaslat természetesen számszerűsített célokat is megfogalmazott (Európai Bizottság, 2015.):

- 2025-ig az újrahasználatra előkészített és újrafeldolgozott települési hulladék mennyiségét minimum 55 tömegszázalékra kell növelni;
- a települési hulladék újrahasználatra való előkészítésére és újrafeldolgozására vonatkozó célértéket 60 %-ra kell növelni 2030-ig.⁴

A körkörös gazdasági csomag elfogadásával a kihívás szintje tovább nőtt, hiszen, ahogy egy uniós felmérés megállapította: annak ellenére is elmaradás mutatkozik az EU-átlagos teljesítésekben (azaz a HKI-ban előírt

³ A hulladékhierarchia a hulladékkal való tevékenységeket ábrázolja piramis alakban a legmegfelelőbbtől a kevésbé kívánatosig: megelőzés, újrahasználat, anyagában történő újrahasznosítás, energetikai újrahasznosítás, ártalmatlanítás.

⁴ E pontban a Régiók Bizottsága 70%-ot javasol, a 60%-ot elszalasztott lehetőségnek minősíti. (Régiók Bizottsága 2017/C 017/09, 2017)

kötelezettségek teljesítésében), hogy a megelőző években jelentős előrelépések történtek e téren (European Commission, 2016).

Az EU hivatalos lapjában végül 2018. június 14-én jelent meg a körkörös gazdaság csomag (hatályba lépett 2018. július 20-án). Az 1. táblázat az abban foglalt módosításokat mutatja be.

1. táblázat - A Körkörös Gazdaság Csomag részletei

Irányelv száma	Amit módosít
2018/849	2000/53/EC, 2006/66/EC, 2012/19/EU Jármű, elem, elektronika
2018/850	1999/31/EC – Lerakó irányelv
2018/851	2008/98/EC – Hulladék keretirányelv
2018/852	94/62/EC – Csomagolás és csomagolási hulladék irányelv

Forrás: saját szerkesztés EUR-Lex alapján

A 2. táblázat összefoglalja a hulladék-keretirányelv és a körkörös gazdasági csomag hasznosítási előírásait⁵.

2. táblázat - A hulladékgazdálkodási célok változásai (98/2008/EK és 2018/851 EU irányelv alapján saját szerkesztés)

98/2008/EK		Körkörös gazdaság csomag	
2015-ig elkülönített gyűjtés	papír, fém, műanyag, üveg		
2020-ig hasznosítás	HH, HHHH-ból 50% papír, műanyag, fém, üveg		
		2025-ig hasznosítás	települési hulladék 55%-a
		2030-ig hasznosítás	települési hulladék 60%-a
		2035-ig hasznosítás	települési hulladék 65%-a

Forrás: saját szerkesztés EUR Lex alapján

⁵ Természetesen a körkörös gazdasági csomag a települési hulladékon túli hulladékáramokra is tartalmaz előírásokat, így a csomagolási hulladéokra is (melynek egy része a települési hulladékban található).



A magyar hulladékgazdálkodás alapját a Hulladék törvény (továbbiakban HT), (2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról) biztosítja. Mivel az érvényben lévő uniós jogszabály a HKI, így annak előírásai jelennek meg a HT-ben⁶.

2.2 A települési hulladék jellemzése

A jelenleg érvényes újrahasznosítási előírások a keletkezett települési hulladék egészének vagy egy meghatározott részének (bizonyos anyagok 50%-ának) újrahasználatra való előkészítését vagy újrafeldolgozását írják elő. Az első feladat tehát az összes települési hulladék mennyiségének meghatározása, a következő pedig az újrahasznosítás fokának számszerűsítése.

2.2.1 A települési hulladék definíciója

Már a 2008. évi statisztikai értékelésben megjelent a települési hulladék két forrásának kérdése: a háztartásokból származó és a közületekről származó hulladék (lásd pl. Hulladéktörvény definíciója). Ez a vita azóta is jelen van a szakmai életben, értelmezése tagországról tagországra változik. A probléma gyökere az, hogy a 2150/2002. rendelet nem a települési hulladék fogalmát használta, hanem felváltotta azt a háztartási hulladék és közületi hulladék fogalmaival. Tizenkét tagállam a rendelet értelmében megpróbálkozott a szétválasztással, azonban a kapott eredmények jórészt durva becslésekből és a hulladékkezelők kérdőíves felméréseiből keletkeztek. (Commission, 2008)

A HT a háztartási hulladék körébe sorolja a vegyes, az elkülönítetten gyűjtött és a lomhulladékot. Meglepő, hogy a háztartásihoz hasonló hulladékoknál csak a vegyes és az elkülönítetten gyűjtött anyagokat említi. Ezzel kizárja azt, hogy a vállalkozások, intézmények lomhulladékot termeljenek, ami elég életszerűtlen.

Az (Eurostat, 2013) hivatalos definíciója bővebb értelmezést ad a háztartási és hasonló hulladékra: *kevert települési hulladék, lom, úttisztításból származó hulladék, csomagolás, konyhai hulladék, háztartási berendezések kivéve az*

⁶ A Körkörös gazdaság irányelv bár hatályba lépett, annak tagállami jogrendbe illesztésének határideje 2020. július 5.



elkülönítetten gyűjtött frakciók. Főleg háztartásban keletkezik, de keletkezik étkezdékben és irodákban is. Ez az értelmezés érdekes módon az elkülönítetten gyűjtött egyes frakciókat zárja ki, azonban a háztartásokon túl megemlíti még két lehetséges keletkezési helyet. A gyakorlatban ez a kiegészítés még mindig jelentősen leszűkített, ismerve egy kommunális gyűjtőjárat által kiszolgált partnerek sokszínűségét.

A definíciós nehézségek akut jellegét bizonyítja, hogy még 2015-ben is tesz az (Európai Bizottság, 2015.) javaslatot a helyzet tisztázására, ahol immár az elkülönítetten gyűjtött anyagáram is megjelenik:

1. Háztartásokból származó kevert hulladék és elkülönítetten gyűjtött hulladék pl.
 - papír és karton
 - üveg
 - fém
 - műanyag
 - biológiailag lebomló hulladék
 - fa
 - textil
 - elektromos és elektronikus berendezések hulladéka
 - hulladékelem és akkumulátor
 - lomhulladék
 - kerti hulladék
2. Egyéb forrásokból származó kevert hulladék és elkülönítetten gyűjtött hulladék, amely jellegében, összetételében és mennyiségében hasonló a háztartási hulladékhoz
3. Piac- és utcatarítás során képződő hulladék, ideértve az utcai söpredéket, az utcai szemétyűjtőkből származó hulladékot, valamint a park- és kertgondozás során keletkező hulladékot.

E felsorolás jelentősen módosított az Eurostat nem életszerű definícióján és a gyűjtési rendszerek valós természetéhez közelít.

A definíciós zavarok és az alkalmazott eljárások tisztázása érdekében a Bizottság 2015. júliusában egy rövid kérdőívvel kereste meg a tagállamokat.



A válaszok egyértelműen azt mutatták, hogy a gyűjtési rendszereknek megfelelő definíció szerint a települési hulladék az a hulladék, mely tartalmazza a kereskedelmi, intézményi és egyéb közületi hulladékot is, ha az a háztartásoknál képződött hulladék jellemzőivel rendelkezik (Eunomia, 2016).

A települési hulladék termelési helyét illetően jelenleg három variáció lehetséges (Eunomia, 2016):

- tisztán a háztartások által termelt hulladék;
- minden, a fentihez jellemzőiben és összetételében hasonlító hulladék;
- csak az önkormányzatok által vagy nevében gyűjtött hulladék.

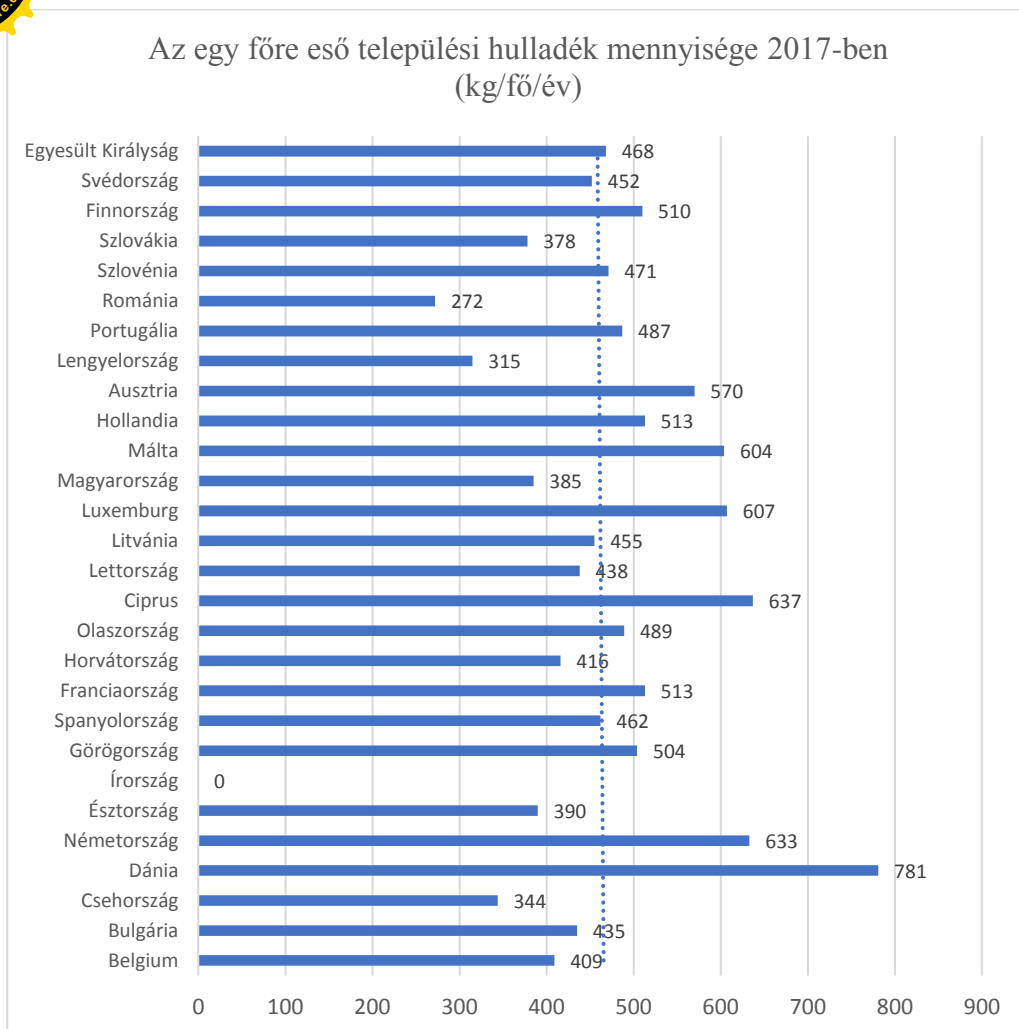
Az mindenesetre elmondható, hogy a tagállamok, ha nem is teljesen azonos módszertant használnak, de magukhoz konzekvensnek mutatkoznak, így saját teljesítményük változása nyomon követhető.

2.2.2 A települési hulladék mennyisége

A fennálló bizonytalanságok ellenére lényeges meghatározni a keletkezett települési hulladék mennyiségét. A KSH adatai alapján Magyarországon az egy főre eső hulladékmennyiség a 470 kg/fő/év értékről lecsökkenve évek óta 370 kg/fő/év körül stabilizálódott. Az OHKT 2017. évi számítása alapján (NHKV Zrt., 2017) 2020-ban 3,8 millió tonna háztartási és háztartáshoz hasonló hulladék fog képződni.

Az egy főre jutó települési hulladék mennyiségét az EU-ban az 1. ábra mutatja meg (kg/fő/év).

A legtöbb települési hulladékot termelő országok Dánia, Németország, Ciprus, Luxemburg és Málta voltak. A legkevesebbet termelők pedig Románia, Lengyelország és Csehország. Magyarország az ötödik helyen áll.



1. ábra (Eurostat, 2019.)

Az EU-s statisztika jól mutatja, hogy az egyes országok hulladéktermelése jelentősen eltér. Ez a nagyfokú változatosság jellemző akkor is, ha egyes térségeket vagy akár egyes településeket vizsgálunk meg. A hulladéktermelés azonban egy éven belül sem állandó intenzitású tevékenység. A hulladékgazdálkodási rendszerek tervezésénél és üzemeltetésénél is lényeges, hogy az éven belüli változások jól becsülhetőek legyenek, tehát vizsgálni kell a héttől-hétre bekövetkező hullámzásokat is. (Burnley S. J., 2007)

A háztartás mérete is jelentősen befolyásolja a keletkezett hulladék mennyiségét és összetételét, de a kutatások eltérő álláspontot fogalmaznak



meg, amikor a rendelkezésre álló edény méretének vagy a szociális és gazdasági környezetének hatását vizsgálták (Burnley S. J., 2007). A hulladék mennyisége és minősége közti különbségeket elemezve (Daskalopoulos, Badr, & Probert, 1998) jelentős érvként jelenik meg (még azonos gazdasági fejlettség mellett is) a fogyasztói szokások és az életmód kérdése is.

(Mendes, Santos, Nunes, & Teixeira, 2013) a szezonális jelentőségét vizsgálta, amikor a turizmus során megnövekedő népesség okozta járatszervezési nehézségeket mérték fel. Megállapították, hogy a téli járatok nem hatékonyak a nyári főszezonban és viszont. Saját tapasztalatom azonban az, hogy a nyári/téli hulladékmennyiség-változás (főleg a szelektív anyagnál, de a vegyesen gyűjtött frakciónál is, a biohulladék kerti részénél pedig egyértelműen) a nem turisztikai területeken is erősen jelen van. A hulladékok mennyiségének növekedéséhez az olyan „tipikus” folyamatok is hozzájárulnak, melyeket a hulladékkal összefüggő lehetőségek elvesztegetésének tárgykörébe sorolnak (Gulyás, 2008). Az etikus fogyasztás lehetőségeinek csökkenéseként írja le pl. a Pepsi 2001-es és a Törley 2005-ös visszaváltható palack kivonási akcióját⁷.

2.2.3 A települési hulladék összetétele

Az újrahasznosításra alkalmas anyagáramok 50%-ának meghatározásához ismernünk szükséges a települési hulladék összetételét. Másrészt a települési hulladék összetétele rendkívüli módon befolyásolja a gyűjtési és kezelési módokat.

A KSH is közöl adatokat az összetételre vonatkozóan. A különböző adatforrások nehézkes összehasonlíthatóságára példa, ahogy a KSH statisztika a közszolgáltatás keretében elszállított hulladékok összetételét mutatja, így nem tartalmazza az egyéb szereplők által elszállított vegyes vagy elkülönített hulladék adatait.

Magyarországon az MSZ 21420-28:2005 és MSZ 21420-29:2005 szabványok rögzítik a települési szilárd hulladékok összetétel vizsgálatának módszereit.

⁷ A kivonások ellen bojkottok is meg lettek hirdetve, illetve a Hulladék Munkaszövetség kampányt indított a visszaváltható palackok forgalomban tartásáért, mely nem járt sikerrel.



Alapvető feladat volt a lerakóba kerülő biológiailag bontható hulladék mennyiségének folyamatos csökkentése, mely a Hulladékgazdálkodási törvényben és a lerakói irányelvben került rögzítésre. Ennek értelmében 2016-ra el kellett érni a 35%-os értéket (az 1995. évi mennyiséghez viszonyítva).

A magyar szabvány 100 mm-es alsó rostát ír elő a vizsgálatok végzésénél. Készült azonban egy javaslat arra, hogy ezt 50 mm-re változtassák, amely végül nem történt meg. Egy nagyívű vizsgálat 2006-ban (Faitli, és mtsai., 2006) azonban az 50 mm-es rostaméretet használta, így mérte fel 11 településen (nagyváros, középtelepülés, különböző méretű falvak) a vegyes hulladék összetételét. Mivel 2006-ban még nem volt jellemző a vidéki kisebb településeken a szelektív gyűjtés, így ez az analízis többé-kevésbé az akkor képződött összes hulladék összetételét mutatja. Itt lényeges megemlíteni, hogy a hulladékanalízisben a hulladékfajták osztályozása láthatóan nem ekvivalencia-osztályozás. Az 50 mm-es rosta alkalmazásával azonban hasonló (sőt akár kisebb) értékek mutatkoznak biohulladékból, míg a maradékfrakció mennyisége hasonló. A vizsgálat során az adatok validálását nedves hulladékkal és 20 mm-es szitával végezték, ahol érdekes eltolódás mutatkozott a valódi összetétel felé. A frakciók többsége a fenti analízisek adatai körül mozgott, azonban a maradék frakció csaknem felére csökkent, a (több mint kétszeres) növekedés pedig a biohulladékban jelent meg. A mintázás ideje és a kis rostaméret alkalmazása valószínűleg pontosan mutatta a 2006. évi hulladék összetételét. A részletes táblázatot az Adatok és módszerek fejezetben mutatom be.

A nemzetközi szakirodalom a magyar eredményekhez hasonló magas értékeket mutat a hulladék biológiailag lebomló tartalmát illetően. (Edjabou M. E., és mtsai., 2015) közöl egy összefoglaló táblázatot a hulladékok összetételéről, melyből a biológiailag lebomló tartalomra vonatkozó adatokat mutatja be a 3. táblázat.

Azt, hogy mennyire nehezen határozható meg a valós hulladék-összetétel, jól mutatja egy angol összesítő tanulmány (Burnley S. J., 2007), amely rámutat, hogy bár a több független forrásból származó analízis eredményei hasonló értéket mutatnak a háztartási hulladék összetételére, ezek azonban eltérnek a hivatalos, nemzeti hulladék-stratégiákban alkalmazott értékektől.



3. táblázat – Biohulladék-tartalom a nemzetközi szakirodalomban

	Szerves/konyhai hulladék m/m%	Kerti hulladék m/m%
Dánia 1	42,2	3,5
Dánia 2	41	4,1
Spanyolország	56,2	1,84
Finnország	23,9	-
Olaszország 1	30,1	3,9
Olaszország 2	12,6	
Lengyelország	23,7	
Svédország	33	9,4
Egyesült Királyság 1	32,8	
Egyesült Királyság 2	20,2	
Törökország	67	0
Korea	12	
Kanada	18,8	5,6
Malajzia	44,8	

Forrás: (Edjabou M. E., és mtsai., 2015)

A nehézség persze abból is fakad, hogy nem csak a fentebb említett hulladékmennyiség éven belüli változása jellemző, hanem az összetétel is változik. Saját tapasztalat, hogy a szelektíven gyűjtött hulladék mennyisége összességében jelentősen lecsökken (főleg a vidéki, kisebb lélekszámú településeken). Ez egyrészt a fogyasztás változásának tudható be (pl. kevesebb PET-palack), azonban gyanús kapcsolatot feltételez az edényekben megjelenő nagy mennyiségű hamu. A biológiailag lebomló tartalom pedig értelemszerűen csökken a téli időszakban.

A megfelelő hulladékgyűjtési rendszer megalkotásakor feltétlenül szükséges ismerni az adott településen, településrészen keletkező hulladék összetételét. Ezért több szerző is foglalkozik mélyebb információkat nyújtó hulladékanalízis módszerek kidolgozásával (Edjabou, és mtsai., 2015), (Daskalopoulos, Badr, & Probert, 1998).

Egyes szerzők pl. (Burnley, Ellis, Flowerdew, Poll, & Prosser, 2007) a hulladékösszetétel vizsgálatok jellemző hibájaként tüntetik fel, ha azt nem az egész hulladékmennyiségre végzik el. Ők valóban felmérték a háztartási hulladékon túl a hulladékudvarban, a kereskedelemben, a lomtalanítás során



és az úttisztításból származó hulladék összetételét is. Kutatásom tárgykörébe a hulladékudvaros, a lomhulladék és az úttisztításból származó hulladék nem tartozik bele, hiszen azt nem rendszeresen, illetve nem feltétlenül tömörítő járművekkel gyűjtik.

Az összes hulladék elméletileg kinyerhető haszonanyag mennyisége persze sohasem fog teljes értékben megjelenni az elkülönítetten gyűjtött frakciókban. Amint a fenti kutatás (Edjabou, és mtsai., 2015) is bizonyítja, az ételmaradék jelentős részben jelentkezik a hulladékmennyiségben. Az étellel korábban érintkező műanyag csomagolás stb. mindig a vegyes edénybe fog kerülni.

(Edjabou, és mtsai., 2015) azt találták, hogy az egyes tipikus településeken mért adatok jól illeszkedtek más hasonló településekéhez. Ez a magyarországi gyakorlatban nem jelenthető ki, és ezt megerősíti egy lengyel elemzés is (Boer, Jedrczak, Kowalski, Kulczycka, & Szpadt, 2010). Míg (Edjabou, és mtsai., 2015) szignifikáns kapcsolatot talált a dániai családi házak magasabb ételhulladék termelésére (a többlakásos házakhoz viszonyítva), addig (Lebersorger & Schneider, 2011) ennek az ellenkezőjét tapasztalta Ausztriában.

Magyar tapasztalat, melyet (Boer, Jedrczak, Kowalski, Kulczycka, & Szpadt, 2010) megerősítenek Lengyelországban is, hogy a fűtési módok a fűtési szezonban jelentősen módosítják a begyűjtött hulladék összetételét. Ezt megerősíti egy korábbi angliai felmérés is, mely szerint a 60-as évektől növekedni kezdett a maradékhulladék mennyisége a nyílt égésű tüzelési módokról a központi fűtésre való áttérés hatására. Ez jelentős mennyiségű anyag eredeti formájában történő átadását jelenti az égetés során keletkező hamu helyett.

Arra, hogy milyen hatások működnek egy-egy hulladéktermelő entitásnál, (Burnley, Ellis, Flowerdew, Poll, & Prosser, 2007) mutat érdekes összefüggéseket Walesből:

- a 16 év alatti taggal rendelkező háztartások átlag fölötti műanyagpalackot és pelenkát termelnek;
- a 17 és 44 év közötti családtaggal bíró háztartások több konyhai hulladékot termelnek;
- a 45 és 64 év közötti családok több papírhulladékot állítanak elő;

- a 65 év fölött termelik a legkevesebb összhulladékot és a legkevesebb csomagolási hulladékot;
- a háztartásban élők száma összefügg a konyhai hulladék, maradékfrakció és a papírhulladék mennyiségével;
- a kisállat-tulajdonos háztartások több hulladékot termelnek. Ez valószínűleg összefügg azzal, hogy a gyermekek és a kisállatok száma egymással kapcsolatban van.

A tárolási és szállítási igény meghatározásához az összetétel mellett az egyes anyagáramok sűrűségének meghatározása is szükséges. Erre tartalmaz adatokat (mind a laza, mind a tömörített sűrűségről) egy angliai felmérés az 4. táblázatban (WRAP Waste & Resource Action Programme, 2009).

4. táblázat – Angliai adatok a hulladék sűrűségére vonatkozóan

	laza kg/m ³	tömör kg/m ³
papír (újság)	300	
papír és hullám	112	431
papír, hullám, tetra	120	366
tetra	26	
üveg	650	
nemvas fém	50	
PET	22	150
egyéb műanyag	27	80
műanyag	30	184
konyhai biohulladék	450	
kerti biohulladék	160	340
kevert szelektív	60	310

Forrás: saját szerkesztés (WRAP Waste & Resource Action Programme, 2009) alapján

2.3 Technológiai lehetőségek és azok költségei

A hulladékgazdálkodási közszolgáltatás költségeinek kézben tartása rendkívül fontos. A magyar hulladékgazdálkodási rendszer a komplex programok kiépülése révén rendelkezik azokkal a létesítményekkel, amik a magas szintű hulladékfeldolgozást lehetővé teszik. Ezeknek a magas technológiai szinten elkészült kezelőknek a beruházási és üzemeltetési költsége igen magas. A



magyar szolgáltatási díjak azonban a Németországban szokásos díjak 10-20%-át teszik ki (NHKV Zrt., 2017). 2010 környékén egy átlagos osztrák háztartás 250 euró körüli összeget fizetett évente a hulladékgyűjtési közszolgáltatás igénybevételéért (Klien & Loser, 2009), ez ma Magyarországon 50-80 euró körül mozog.

A komplex létesítmények üzemeltetése (a kapcsolódó pályázati, fenntartási kötelezettségek miatt) kötelező, ezért a közszolgáltatás megszervezésénél azok üzemeltetését feltétlenül tervezni kell. Egyértelmű azonban, hogy a logisztika oldalán és a helyben történő előkezelés alapos kidolgozásával a rendszerszintű költségek csökkenthetők.

A 2017. évi OHKT alapvető célkitűzésként jelöli meg többek között a közszolgáltatás finanszírozásának fenntarthatóságát, a hazai rendszerek felülvizsgálatát és a rendszerelemek fejlesztését, valamint az előírt hasznosítási arányok teljesítését. (NHKV Zrt., 2017.)

2.3.1 Az újrahasznosításból származó előnyök

A szolgáltatás díjának kidolgozása óriási hatást gyakorol az igénybevevők szelektív lelkesedésére. (Dijkgraaf & Gradus, 2008) például szignifikáns költségcsökkenést tapasztalt, miután az elszállított mennyiségek utáni egységárat bevezették. Az ilyen típusú szolgáltatás-árazás (függetlenül a szolgáltató magán vagy közületi jellegétől) a lakossági tudatosabb hulladékkezelésen (szelektáláson) keresztül tud megtakarítást elérni. Más következtetésre jut (Dahlén & Lagerkvist, 2010), akik a súlyalapú számlázás bevezetésnek hatását vizsgálták a keletkezett hulladék mennyiségére. Azt ugyan tapasztalták, hogy a bevezetés után jelentősen, 20%-kal lecsökkent a maradékhulladék mennyisége. Azonban ez két okra volt visszavezethető: a kieső mennyiség egy része megjelent a hulladékudvarokban (ez a mai magyar viszonyok között nem jelenne meg, mert a hulladékudvarok csak elkülönítetten gyűjtött hulladékot fogadhatnak). A csökkenés másik oka igen figyelemreméltó: látványosan lecsökkent a maradékhulladék kerti eredetű szerves tartalma. Érdekes módon azonban az elkülönítetten gyűjtött mennyiség nem nőtt számottevően.



Általánosságban azonban biztosan kijelenthető, hogy az olyan, széles körben elfogadott gazdasági ösztönzők, mint a lerakói adó vagy a „Pay As You Throw” (PAYT) rendszer, különösen hatékonyan emelik a hulladékáramokat felfelé a hulladékhierarchia piramisában. Ha ezek az ösztönzők kiegészülnek egy hatékony EPR rendszerrel, az jelentősen hozzásegít a visszagyűjtési célok eléréséhez. (Mudgal, és mtsai., 2014.)

Az ingatlantulajdonos által fizetett szolgáltatási díjon túl a rendszerben még egy bevételi forrás mutatkozik: a begyűjtött haszonanyag értékesítéséből származó bevétel.

(Mudgal, és mtsai., 2014.) a következő tényezőket találta jelentősnek az újrahasznosítás hatékonyságát illetően:

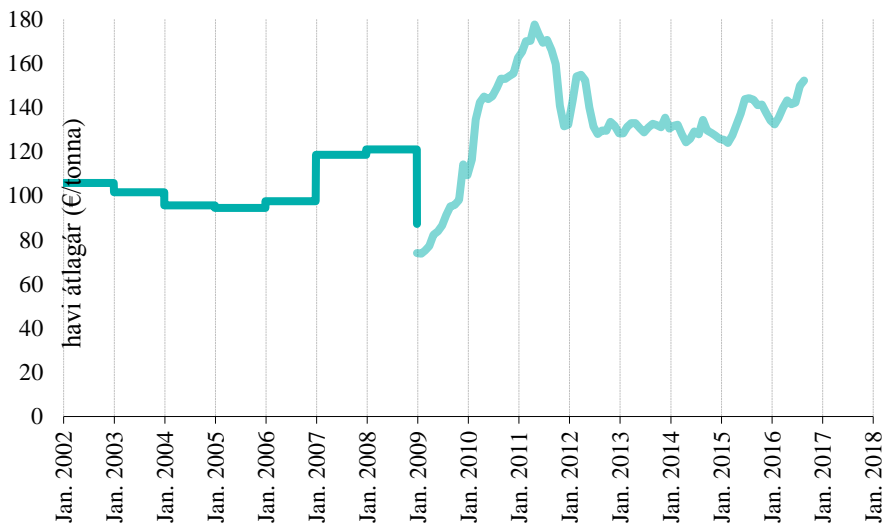
- az új- és másodnyersanyagok árainak mozgása,
- az újrahasznosítás és lerakás költsége,
- az elsődleges nyersanyagok internalizálási költségei,
- a másodlagos nyersanyagok technológiai hasznosíthatósága,
- a felhasználók hozzáállása a másodnyersanyagból készült termékekhez.

Az értékesítésre kerülő másodnyersanyagok árszínvonalát jellemzően globális tényezők határozzák meg (Eunomia Research & Consulting, 2002).

A 2. és 3. ábrák a papír- és hullámpapír-hulladék, valamint a műanyag-hulladék árának változását mutatják be a másodnyersanyag-piacon (Eurostat, 2018).

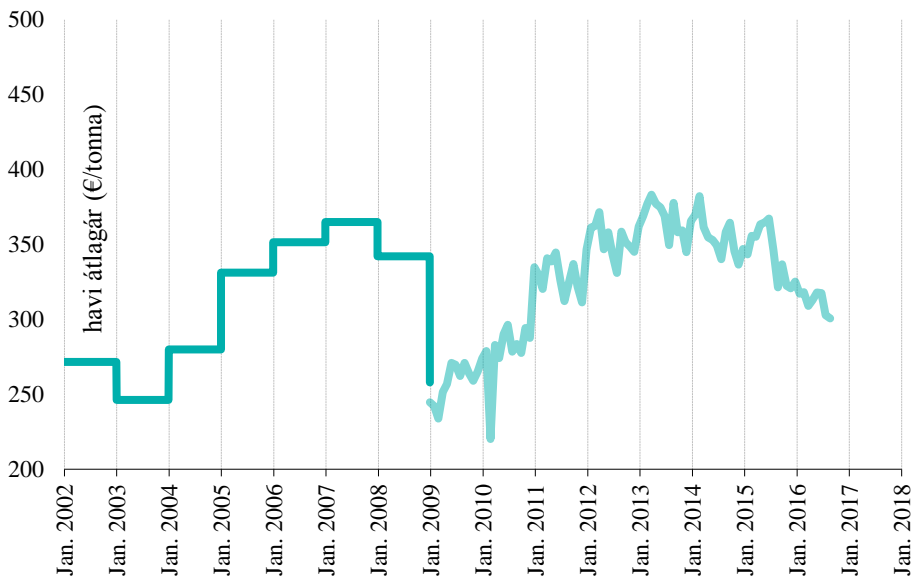
A másodnyersanyagot felhasználók pénzügyi előnye jelentős. Az 5. táblázat (EC, 2014.) az újrahasznosított anyag költségelőnyét mutatja. Feltűnő az alumínium a vártnál alacsonyabb előnye. Ez abból fakad, hogy az összes másodnyersanyag közül egyedül az alumíniumhulladék felvásárlási ára fedezi a begyűjtés teljes költségét (a többi anyagféleségnél jóval magasabb ezért az újrahasznosított anyag ára).

2. ábra– A papír- és hullámpapír-hulladék árának változása az EU28-ban



Forrás: Eurostat

3. ábra- A műanyag hulladék árának változása az EU28-ban



Forrás: Eurostat

Környezeti szempontból érdekes eredmények találhatók, melyek árnyalják az elkülönített gyűjtés egyértelműnek gondolt globális előnyét. Érdekes eredményeket ismertet például (Beigl & Salhofer, 2004) kutatása, ami a hulladékgazdálkodási szelektív anyagáramok visszagyűjtésének globális felmelegedési potenciálját vizsgálta.

5. táblázat – Az újrahasznosított anyagok költségelőnye

Anyag	Új anyag	Újrahasznosított anyag	Arány
	€/tonna	€/tonna	%
üveg	52 – 59	12,5 – 34	24% - 58%
papír	717 – 776	115 – 136	16% - 18%
alumínium	1 719 – 1 774	650 – 1 080	38% - 61%
acél	394 – 630	160 – 180	41% - 29%
HDPE	990 – 1 200	245 – 280	25% - 23%
PET	1550 – 1 700	390 – 475	25% - 28%

Forrás: (EC, 2014.)

E szempontokat figyelembe véve érdemes újrahasznosítani az üveg, műanyag és fém frakciókat, azonban a papír energetikai hasznosítása kisebb negatív hatással jár, mint a másodnyersanyagként való begyűjtése és újrahasznosítása. A legnagyobb pozitív hatással a fém-újrahasznosítás jár. Megjegyzi még, hogy a házhoz menő rendszerek alkalmazása még mindig kisebb környezeti kárt okoz, mint a hulladékudvaros megoldás, ahol az egyéni fuvarok összehatása jelentősen nagyobb, mint a rendszeres gyűjtőjáratoké.

(Salhofer, Schneider, & Obersteiner, 2007) szerint a GWP (global warming potential) szempontjából a gyűjtési kibocsátások csak kis részét (1-10%) képezik a gyűjtés-hasznosítás/égetés-lerakás folyamatában kibocsátott GWP-faktoroknak. Következésképpen (főleg PE-fóliánál és papírnál) ebből a szempontból nincs értelme szofisztikált, több erőforrást használó gyűjtési rendszerek kialakításának. Azonban ha gyűjtési rendszerek nagyobb mennyiségű anyag újrahasznosítását eredményezik, úgy a környezetvédelmi eredmény is nőhet. Az előzőekkel ellentétben az olyan extrém kis fajsúlyú anyagoknál, mint az EPS, kifejezetten a helyi előkezelési megoldásokat kell előnyben részesíteni (szállítási határa 6%-a a papír hasonló mutatójának).

2.3.2 Optimalizálási törekvések

A begyűjtési célértékek teljesítése érdekében lényeges az elkülönített hulladék gyűjtési és begyűjtési rendszerének integrált fejlesztése. A kisebb költséggel üzemelő rendszer elemek, a lokális megoldások rendszerbe illesztése lehetőséget jelent a pénzügyi fenntarthatóság elérésére. Ezek a közbeiktatott gyűjtési és kezelési lépcsők (egyszerűbb eszközökkel, olcsóbb üzemeltetéssel,



aktívabb lakossági közreműködéssel) nem teszik feleslegessé a központi létesítmények munkáját, azonban magasabb színvonalú lakossági szelektivitással, részben a gyűjtőpontos gyűjtés felé irányítással és a lokális előválogatással megkönnyíti azok munkáját. Az előválogatás révén a központi válogató több anyagfeleség válogatására lesz képes egyszerű munkaszervezéssel.

A gyűjtés/szállítás és kezelés költségeinek felhasználásával lehetséges általános döntés előkészítést megalapozó számításokat készíteni. Ezek azonban (pl. (Lavee & Nardiya, 2013) általában az általánosnak számító gyűjtési sémában maradnak (háztartás – gyűjtés – átrakóállomás – lerakás/hasznosítás).

Szintén nagy beruházási költséggel épülő, nagyméretű és teljesen centralizált, létesítményeit tekintve rugalmatlan rendszerben gondolkozott (Levis, Barlaz, DeCarolis, & Ranjithan, 2013), amikor olyan tömeg alapú integrált hulladékgazdálkodási rendszert készítettek, melynél a tömegáramokat és a létesítmények kapacitását vették alapul. Céljuk egyébként még az üvegházhatású gázok kibocsátásának és a rendszer költségének kiszámítása volt.

A hulladék begyűjtés egyes részfeladatainak optimalizálását több szerző is kutatta: (Ghose, Dikshit, & Sharma, 2006), (Hemmelmayr, Doerner, Hartl, & Rath, 2011), (Zamorano, és mtsai., 2009), (Kytöjoki, Nuortio, Braysy, & Gendreau, 2007), (Azi, Gendreau, & Potvin, 2010), (Zhang, Huang, & He, 2011), (Apaydin & Gonullu, 2008). A szerzők legtöbb esetben az úthossz alapú optimalizálást részesítik előnyben. A várható megtakarítás a gyűjtési rendszer aktuális szervezettségétől is jelentősen függ: (Apaydin & Gonullu, 2007) törökországi tanulmánya akár 50%-os csökkentést is be tudott mutatni a gyűjtőutak hosszára. Természetesen ennek megtakarított költségvonzata is jelentős. Magyarországi vizsgálatok is folynak a gyűjtési rendszerek optimalizálására, amelynek fókuszában a gépi kapacitás áll, eredményként közlik a futott kilométerek 5 %-os csökkentését (Eke, 2018.).

Az üzemanyag-fogyasztás is lehet optimalizálási szempont. Erre optimalizált (és bizonyítja fontosságát az út- vagy idő optimalizálásával szemben) (Tavares, Zsigraiova, Semiao, & Carvalho, 2009). A számításoknál



figyelembe vették a domborzati viszonyokat és annak fogyasztásra gyakorolt hatását egy háromdimenziós térképi felület használatával.

A gyűjtőutak optimalizálása él alapú (gráf) optimalizálás. Ez jóval komplexebb útkeresési feladat, mint a gyűjtőpontos hulladékgyűjtés modellezése, mely a csomóponti útválasztás problémakörébe tartozik. Ennek optimalizálását végezte (Hemmelmayr, Doerner, Hartl, & Rath, 2011). Ebből a témából írta doktori értekezését (Ladányi, 2013) is.

Egy valós szolgáltatási terület többdepós-többtermékes (a több telephely közül egyik válogató helyszínként is funkcionál) optimalizálása során kiderült, hogy a legkisebb CO₂ kibocsátással járó eredmény egyben a legrövidebb úthosszt is jelenti. A CO₂ kibocsátás nem igazán függött a jármű súlyterhelésétől. Érdekes, hogy az optimalizálás több depót is az előkezelést végző depóhoz irányított, így csökkentve CO₂ kibocsátást (Ramos, Gomes, & Barbosa-Póvoa, 2014).

2.3.3 Hulladékgyűjtő rendszerek szakirodalmi áttekintése

A települési hulladék komplex összetétele egy összetett gyűjtési és kezelési rendszert tesz szükségessé. A települési hulladék kezelésének színvonalából egyébként jól lehet következtetni az adott ország általános hulladékgazdálkodási színvonalára is (EK, 2014.).

A gyűjtőjáratok úthossza, időszükséglete vagy kalkulált üzemanyag-felhasználása jelentős költségképző tényező. Azonban a gyűjtési költségek vizsgálatának mindig csak a helyi környezetben van értelme. (Eunomia Research & Consulting, 2002). Általában megállapítható, hogy az egyik település hulladékmennyiség és -összetétel értékei nem feltétlenül adaptálhatók egy másik településre, a szelektív gyűjtés iránti fogékonyság és hatékonyság is jelentősen eltérő lehet. Így a gyűjtés és egyéb alternatív kezelési módok meghatározása csak a helyi/térségi viszonyok alapos felmérése után történhet meg.

Fontos kérdés, hogy a szelektív gyűjtés milyen elválasztással, milyen gyűjtőedényben/helyen történjen meg és milyen gyakorisággal.

A hatékony hulladékgazdálkodási rendszer elemei (EK, 2014.):

- hatékony gyűjtőrendszer;
- a hulladéktermelők aktív részvétele;
- az infrastruktúrának a hulladék sajátos összetételéhez való hozzáigazítása;
- átgondolt finanszírozás.

(Arena & Di Gregorio, 2014) szerint a rendszerek hatékonyságát három változóval lehet jellemezni, melyek:

- az elkülönítetten gyűjtött mennyiség;
- a biofrakció hasznosításának aránya (főleg energetikai hasznosítás);
- a maradék hulladék égetéssel hasznosított részaránya.

35%-os arányú különgyűjtésnél értelem szerűen kisebb az anyagában történő hasznosítás lehetősége, de jelentős mértékű energia nyerhető ki a hulladékból annak elégetésével. 65%-os különgyűjtés csökkentett energiakinyeréssel jár, ám az anyagában hasznosítás sokkal jelentősebb. Ha a szelektív gyűjtés magas szintű, és hatékony biohulladék különgyűjtéssel párosul, azzal jelentősen le lehet szorítani a lerakói kapacitás használatát.

(Calabro, 2009) korábban kidolgozott különgyűjtési arányokat felhasználva a szelektív gyűjtés GHG hatását vizsgálta, figyelembe véve a kezelés lehetőségeit is (égetés és lerakással történő ártalmatlanítás). A különgyűjtési arányokat 15-35-50%-os arányban vizsgálták volna, ám az 50%-os arányt végül kizárták, mert nem tartották realisztikusnak az ilyen mértékű arány elérését. Ez a visszagyűjtési arány, ami 2009-ben nem volt elképzelhető, 2018-ra tényleges elvárassá vált! A 2009-es pesszimista gondolatokkal szemben egy 2007-ben készült wales-i tanulmány (Burnley, Ellis, Flowerdew, Poll, & Prosser, 2007) arra a következtetésre jut, hogy a hulladék 36%-a újrahasznosításra alkalmas, ehhez adódhat 13% kerti hulladék, esetleg 15% konyhai hulladék komposztálása vagy fermentálása.

A HKI (és a csomagolási irányelv) életbe lépése óta az EU-s előírások alapvetően befolyásolják a szelektív gyűjtés kivitelezését.

A mai hazai előírások (HT) (385/2014 Korm. rend) házhoz menő gyűjtéssel rendelik elszállítani a egyes és az elkülönítetten gyűjtött frakciókat, sőt még a lomtalanításnál is törekedni kell a házhoz menő megoldásra. A gyűjtőszigetes



megoldás csak ott alkalmazható, ahol a házhoz menő gyűjtés és szállítás speciális területi vagy domborzati viszonyok miatt nem biztosítható.

Egy uniós összefoglaló (European Commission, 2016) is kijelenti, hogy a nem házhoz menő szelektív rendszerek alacsony minőségű anyagáramot termelnek. Ezek a módszerek csak egy megfelelően szigorú PAYT rendszerbe ágyazva eredményeznek magas arányú és színvonalú szelektív gyűjtést.

A hulladéktermelők aktív részvételét illetően lényeges még az otthon történő válogatást feltételező rendszerek sikere szempontjából a rendszer gyűjtési lehetőségeihez való hozzáférés „kényelme”. A gyűjtőedények és gyűjtőpontok elhelyezkedése és méretezése is fontos feladat. Amennyiben ez nem megfelelő, előfordulhat túlcordulás, aminek következménye az illegális frakciók megjelenése. Lényeges a könnyű megközelíthetőség biztosítása mind a felhasználó, mind a begyűjtő jármű számára (Zamorano, és mtsai., 2009).

Egyértelmű, hogy az elkülönítetten gyűjtött száraz frakciók és a biohulladék mennyisége csökkenti a vegyes hulladék mennyiségét. Azonban a kerti hulladék gyűjtése a begyűjtött összhulladék mennyiségét növelheti. Ezért a leghatékonyabb rendszer az, amelyik csak a konyhai hulladék szervezett gyűjtésére koncentrál. A biológiailag lebomló frakciók külön gyűjtése a maradék hulladék gyűjtésének ritkább járatfrekvenciáját is lehetővé teszi (Eunomia Research & Consulting, 2002).

Egy magas szintű biohulladék gyűjtés jelentős költségnövekedést okoz a gyűjtésben, azonban a kezelési összköltség csökkenhet általa. A sűrűn lakott területeken a házhoz menő biohulladék gyűjtés megfelelő módszernek mutatkozik (European Commission, 2016).

Érdekes vizsgálatot folytatott (Gallardo A. , Bovea, Colomer, Prades, & Carlos, 2010), amikor 50 ezernél nagyobb lélekszámú spanyol települések hulladékgazdálkodási rendszerét elemezte egy saját mutatószámrendszer segítségével. Megállapították, hogy a könnyű csomagolási hulladék különgyűjtési aránya a házhoz menő gyűjtéssel a legmagasabb. A gyűjtőpontos rendszer magasabb szennyezettségi szintet eredményez. Összességében a legkedvezőbb rendszernek a következő bizonyult: házhoz menő gyűjtés a biohulladéokra és maradék hulladéokra; gyűjtőpont a papírra, üvegre és könnyű csomagolásra. Ez a rendszer minden bizonnyal megfelelő a magas

népsűrűséggel jellemezhető városokban, ahol kevés tárolóhely áll rendelkezésre a lakosok számára.

(Yildiz-Geyhan, Yilan-Ciftci, & Altun-Ciftcioglu, 2016) Isztambul szelektív gyűjtési rendszerét vizsgálták. A meglévő (házhoz menő kevert szelektív és üvegyűjtő szelektív szigetek) rendszer mellett további nyolc scenáriót dolgoztak ki, melyek a 6. táblázatban láthatók.

6. táblázat – Isztambul működő és modellezett hulladékgyűjtési rendszerei

	házhoz menő ⁸	járdamelléki ⁹	gyűjtőpont
Meglévő rendszer	kevert szelektív	-	üveg
Szenárió 1. (S1)	kevert szelektív	kevert szelektív	üveg
Szenárió 2. (S2)	kevert szelektív	-	-
Szenárió 3. (S3)	papír - üveg - nehéz/könnyű csomagolás	-	-
Szenárió 4. (S4)	papír - könnyű csomagolás - nehéz csomagolás - üveg	-	-
Szenárió 5. (S5)	-	kevert szelektív - üveg	-
Szenárió 6. (S6)	-	papír - nehéz/könnyű csomagolás - üveg	-
Szenárió 7 (S7)	-	-	kevert csomagolás - üveg
Szenárió 8. (S8)	-	-	papír - nehéz/könnyű csomagolás - üveg

Forrás: (Yildiz-Geyhan, Yilan-Ciftci, & Altun-Ciftcioglu, 2016)

A kutatók több szempontból is vizsgálták a scenáriók teljesítményét.

Üzemanyag-fogyasztás szempontjából az S5 mutatkozott a legkedvezőbbnek. Az S4 háromszor annyi üzemanyagot fogyasztott, mint az S2. Az S3 és az S4 eredményezte a legkevesebb, az S2 a legtöbb lerakott hulladékot.

Egy 150 ezres lélekszámú város házhoz menő gyűjtésének modellezését végezte (Mora, Manzini, Gamberi, & Cascini, 2014). Különböző

⁸ angolul door to door

⁹ angolul curbside vagy kerbside. A door to door és a curbside között jelentős különbség nincs, a door to door nem jelent közvetlen találkozást a hulladéktermelő és a szállító között, míg a curbside valamilyen kapcsolatot feltételez. Általában nem is kerül a kettő megkülönböztetésre, gyakran a door to door/curbside alakban jelenik meg a kiadványokban.



járatkiosztásokat dolgoztak ki, a következő szempontokra fókuszálva: járatok száma (3 vagy 4), járművek szinkronizált avagy szinkronizálatlan mozgása, járművek mérete. Az új gyűjtési rendszer kidolgozásának célja az volt, hogy az addig alkalmazott gyűjtőpontos rendszer környezeti hatásait csökkentsék. Az öt kidolgozott verzió hatása az ökoszisztéma és emberi egészség szempontjából hasonlóan bizonyult, mint a gyűjtőpontos rendszeré. Megállapították továbbá, hogy az öt (járatszerkezésképpen különböző) verzió költségei és terhelései alig különböznek egymástól.

Valószínűleg nagy népsűrűség esetén, a kezelőhöz közel elhelyezkedő nagy mennyiségű hulladék begyűjtésénél az alternatívák közel egyenértékűek. A házhoz menő rendszerre a nagyobb szelektív intenzitás miatt érdemes áttérni. A kezelőtől messzebb fekvő települések gyűjtési rendszerének kidolgozásánál azonban nagyobb különbségek mutatkoznak a rendszerek költsége között.

Az európai Közszolgáltatások Zöld Könyve (EC, 2003) is hangsúlyozza, hogy másféle kezelést igényelnek a távoli vagy ritkán lakott területek, mint a városias térségek. Bel és Mur (2009) ökonometriai modellel azt vizsgálták, hogy vidéki térségekben hogyan lehet célszerű a szolgáltatás szervezése. Arra jutottak, hogy a vidéki térségben minél nagyobb a szétszórtsága a településeknek, annál nagyobbak a költségek. Ugyanakkor a településközi együttműködések azokban a településekben, ahol a lakosság szám alacsony, a költségek csökkenését idézik elő.

(Mudgal, és mtsai., 2014.) is megállapítják, hogy az elkülönített gyűjtés érzékelhetően magasabb gyűjtési költséggel jár. Azonban ha figyelembe vesszük a begyűjtött hulladék minőségét és az újrahasznosítás pozitív értékét, akkor az elkülönítetten gyűjtött települései hulladék gyűjtése és kezelése kisebb összköltséggel járhat, mint a vegyesen gyűjtött hulladék begyűjtése és ártalmatlanítása.

Látványosan számszerűsíti a háztartási hulladék szelektív részének gyűjtési és kezelési költségeit a 7. táblázat (az adatok az Egyesült Királyság viszonyait mutatják 2008-ban) (EC, 2014.).

7. táblázat – Gyűjtési és kezelési költségek különböző elkülönítési szisztémákban a vidéki és városi területeken

Gyűjtési rendszer	Gyűjtési költség (EUR)		Válogatási, kezelési és újrafeldolgozási költség (EUR)	
	város	vidék	város	vidék
Házhoz menő, frakciónként	83,31 – 137,90	89,22 – 162,18	26,10 – 78,04	32,05 – 102,45
Házhoz menő, kevert szelektív	64,63 – 84,39	71,40 – 136,55	96,97 -108,64	103,74– 160,81

Forrás: (EC, 2014.)

Látható, hogy a táblázatban feltüntetett értékek széles intervallumot fognak át. Egyértelmű következtetések vonhatók le azonban arra, hogy:

- a városi területen történő gyűjtés jóval kedvezőbb költséggel jár, mint a vidéki településeken való munkavégzés;
- a kevert szelektív anyagáram gyűjtése olcsóbb a frakciónkénti gyűjtésnél;
- a kevert szelektív anyagáram kezelése többszöröse a frakciónkénti gyűjtésből származónak;
- a vidéki eredetű szelektív anyag kezelése drágább, mint a városból származónak.

Az egyes tagállamokban a gyűjtés költségei jelentősen eltérnek. Ez a széles skálán mozgó lehetőségek függvénye (pl. járművek, gyakoriság, edények különbözősége). Az elérendő cél e téren a gyűjtés és válogatás optimuma. Egyes tagállamok alacsonyabb költségek mellett tudnak jobb eredményeket elérni (természetesen a lakosság környezettudatossága is erősen befolyásolja az eredményeket) (EC, 2014.). A gyűjtés és kezelés belga és portugál példából származó költségeinek összefüggéseit mutatja be (Marques, és mtsai., 2014)¹⁰ a 8. táblázat és a 4. ábra. A két ország jelentősen eltérő költségstruktúrája újabb bizonyítékát adja annak, hogy a különböző adottságok, feltételek eredményezte működési költségkülönbségek miatt az egyes területek, régiók,

¹⁰ A magas színvonalú hulladékkezelés időszaka előtt a gyűjtés/szállítás aránya 60-80% volt a szolgáltatás összes költségéből (Tin, Wise, Su, Reutergardh, & Lee, 1995).

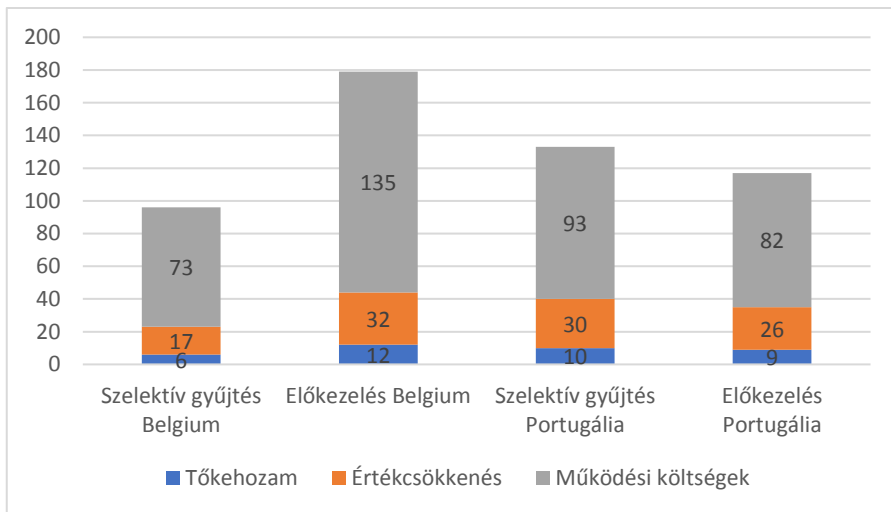
sőt települések gyűjtési-kezelési költségei sem származtathatók feltétlenül egymásból.

8. táblázat – Egy belga és egy portugál példa a szelektív anyag gyűjtési és kezelési költségére

	Belgium		Portugália	
	Szelektív gyűjtés	Előkezelés	Szelektív gyűjtés	Előkezelés
	EUR/tonna	EUR/tonna	EUR/tonna	EUR/tonna
Működési költségek	73	135	93	82
Értékcsökkenés	17	32	30	26
Tőkehozam	6	12	10	9

Forrás: (Marques, és mtsai., 2014)

4. ábra– A belga és portugál költségstruktúra (EUR/tonna)



Forrás: (Marques, és mtsai., 2014)

Belgiumban a műanyag-fém-italoskarton frakció kétheti gyakorisággal kerül begyűjtésre házhoz menő gyűjtéssel, az átlagos gyűjtött súly 3 tonna/jármű. A papír frakciót havi gyűjtésben szintén ingatlantól szállítják el (átlagos gyűjtött súly 9 tonna/jármű). Portugáliában a gyűjtés jóval többre kerül, mint Belgiumban. Ennek három okát ismerték fel, melyek: a vidék heterogenitása, a kis népsűrűség és a melegebb klíma sűrűbb begyűjtési gyakoriságra való igénye. Fontos különbség a két ország között, hogy Belgium régebb óta gyakorolja a szelektív gyűjtést, illetve annak hatékonyságát jelentősen

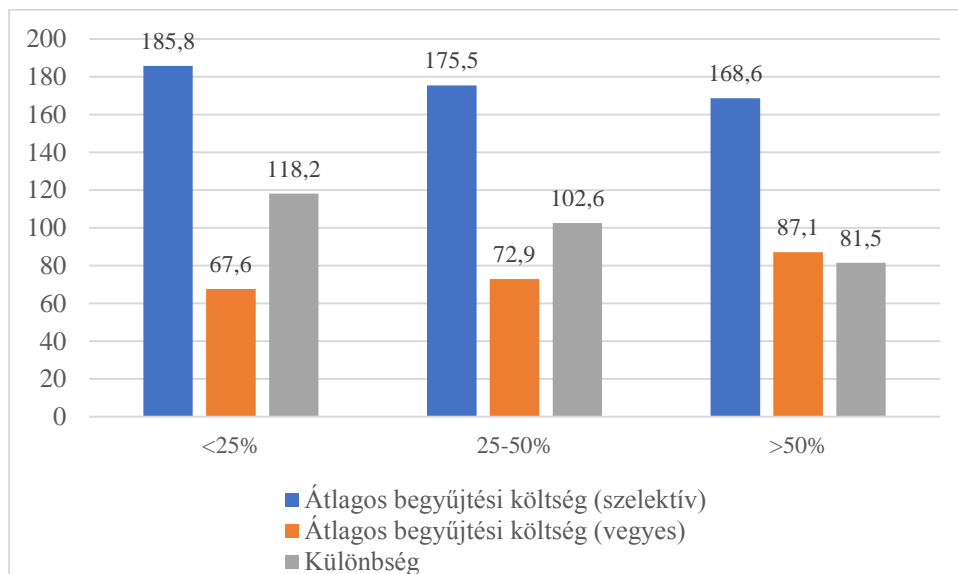
Öfolyásolja, hogy míg itt PAYT rendszer van, addig Portugáliában a termelt vegyes hulladék mennyiségétől függetlenül (a vízfogyasztás alapján számolt) hulladékdíjat fizet az ingatlantulajdonos.

Nyolc különböző település gyűjtési rendszerének elemzése alapján - melyek a házhoz menő és a gyűjtőpontos gyűjtés különböző variációit tartalmazzák különböző frakciókra - (Gallardo, Bovea, Colomer, & Prades, 2012) megállapították, hogy a nagyobb települések viszonylatában (5000-50 000 lakos) a leggyakrabban alkalmazott rendszer a következő:

- üveg, papír, karton és műanyag csomagolás gyűjtőponton történő gyűjtése,
- vegyes hulladék házhoz menő gyűjtése.

Az 5. ábra azt illusztrálja, hogy a szelektív és vegyes hulladék gyűjtésének költsége függ a szelektivitás mértékétől is. Annak növekedésével a szelektív gyűjtés tonnánkénti fajlagos költsége csökken, míg a vegyes hulladéké nő. Azonban még 50%-os különválogatásnál is csaknem kétszeres a szelektív gyűjtés átlagos költsége (D'Onza, Greco, & Allegrini, 2016).

5. ábra – A szelektív és vegyes hulladék begyűjtésének költsége különböző szelektivitási arányoknál (EUR/tonna)



Forrás: (D'Onza, Greco, & Allegrini, 2016)

Egy új megközelítést alkalmazott a gyűjtés jellemzőinek elemzésére (Salhofer, Schneider, & Obersteiner, 2007): Ausztriában a különböző szelektív anyagok

egy tonnájának begyűjtésére fordított úthosszt elemezték. A 9. táblázat a papír begyűjtésének kilométer-ráfordítását mutatja be különböző paraméterű körzetekben. A táblázatban szereplő értékek a tisztán gyűjtéssel megtett úthosszt mutatják (km/t), és nem tartalmazzák a munkaterületre és vissza megtett távolságot.

9. táblázat – Egy tonna papír begyűjtéséhez megtett út hossza (km)

Bécs	5,8
városi házhoz menő	7,1
kertvárosi házhoz menő	3,9
vidéki házhoz menő	12,7

Forrás: (Salhofer, Schneider, & Obersteiner, 2007)

A 10. táblázat a polietilén fólia begyűjtésének eredményeit tartalmazza.

10. táblázat - Egy tonna LDPE begyűjtéséhez megtett út hossza (km)

városi házhoz menő	37,5
vidéki házhozmenő, sűrűn lakott	26-56
vidéki házhozmenő, ritkán lakott	53-83

Forrás: (Salhofer, Schneider, & Obersteiner, 2007)

(Münster, Ravn, Hedegaard, Juul, & Söderman, 2015) egy lineáris programot fejlesztettek, mellyel különböző struktúrájú rendszerek hasonlíthatók össze. Korábbi adatokat felhasználva egységnyi költséggel számoltak (63 EUR/t) a szelektív anyag begyűjtési költségeire 27%-os különgyűjtési arány mellett. Főleg az „égetés vagy biogáz előállítás” kérdésre koncentráltak.

Más szerzők azonban megállapítják, hogy a gyűjtési költségek anyagfajtánként jelentősen eltérnek (pl. a gyűjtött anyag sűrűsége miatt).

(Greco, Allegrini, Del Lungo, & Savellini, 2015) ezért új szemlélettel vizsgálták a gyűjtési költségeket: anyagfajtánként kutatták a költségeket és azok változását, tekintettel a mennyiség, a munkaerő-szükséglet és a járműigény változásaira. Megkülönböztették a vegyes, a papír, a kevert csomagolási és a biohulladékokat. Megállapították, hogy a fenti frakciónál mind a méretgazdaságosság, mind a költségeket befolyásoló tényezők különböznek. A vegyes hulladék gyűjtésénél a költségek növekedése töredéke a begyűjtött mennyiségnek (1 kg pluszhulladék begyűjtése az ingatlantulajdonos költségét 0,22%-kal növeli). Ugyanez az érték a szelektív anyagoknál 1%. Ez a tény növekvő hulladékmennyiség esetén a szolgáltatás tartalmát előíró önkormányzatot a szelektív gyűjtés felől a vegyes gyűjtés



irányába motiválja. Többek között ezért is szükséges a szelektív gyűjtés hatékonyságának növelése. Ezt elősegítheti az is, hogy a méretgazdaságosság a szelektív anyagáramoknál kisebb, mint a vegyes hulladék esetében.

Egy kiterjedt önkormányzati felmérés (Szira, 2010) alapján a gyűjtőszigetek a sűrűn lakott területeken alkalmazhatóak jól. Előnyük továbbá a kisebb gyűjtési és begyűjtött hulladék válogatási költség. A gyűjtőjáratot a szerző ritkábban lakott településeken tartja jobb megoldásnak (annak magasabb költsége ellenére).

A gyűjtőpontos rendszer lényeges ismérve az elérési távolság. Egy spanyol példa (Alvarez, Larrucea, Santandreu, & de Fuentes, 2009) mutatja, hogy kis- és közepes városi környezetben úgy lehetett fenntartani a 150 méteres rádiuszt, hogy a 800 és 1100 literes edényeket 2500 literesekre cserélték le. A nagyobb kapacitású edények begyűjtése értelemszerűen hatékonyabban történik meg. (Mudgal, és mtsai., 2014.) vizsgálatukban megállapították, hogy Írországban 2012-ben a házhoz menő és a hulladékudvaros (bring site) megoldás aránya 55:45. Ez azért adhatott okot megalégedésre, mert a bring site-ok száma már optimális volt. 2016-ban azonban már szinte az összes háztartás a házhoz menő rendszerben került kiszolgálásra. Szlovéniában a házhoz menő gyűjtést uniós csatlakozásukkor vezették be, melynek számos előnye volt szerintük. A vegyes hulladék gyűjtési gyakorisága csökkenthető volt, mely jól kompenzálta a szelektív anyagoknál jelentkező többlet szállítási igényt. A lakossági megalégedettség jelentősen nőtt, ahogy az újrahasznosítható anyag mennyisége is. Azt elismerik, hogy pénzügyi szempontból a házhoz menő rendszer jóval drágább, mint a gyűjtőszigetes megoldás.

2.3.4 Hulladékkezelési rendszerek szakirodalmi áttekintése

A települési hulladék tekintetében rendkívül fontos a gyűjtési és kezelési/ártalmatlanító rendszerek összehangolása. A gyűjtési költségek önállóan történő vizsgálata nem ad megfelelő rendszerszintű információt, ezért azt mindig együtt kell vizsgálni a válogatás költségeivel is (Eunomia Research & Consulting, 2002).

A gyűjtés módja hatással van a kezelés lehetőségeire és költségeire. Ahol a gyűjtés és a kezelés nem integrált rendszerként kerül kiépítésre, ott a gyűjtésnél



jelentkező költség minimalás (pl. vegyes szelektív gyűjtés) többlet kezelés. költséghez fog vezetni. A biohulladék külön gyűjtése ugyanakkor megkönnyíti a haszonanyagok kezelését, hiszen a szennyezettség szintje csökken. (Mudgal, és mtsai., 2014.)

A magyar gyakorlatban a közszolgáltató a begyűjtött szelektív hulladék válogatását, bálázását végzi, valamint a vegyesen gyűjtött hulladék mechanikai illetve mechanikai-biológiai kezelését és lerakással történő ártalmatlanítását. A szükséges kezelő létesítmények mérete, funkciója és komplexitása természetesen a gyűjtési rendszertől és a hulladékok tulajdonságaitól függ. Jelentősen befolyásolja a kezelést az együttgyűjtött anyagok milyensége és mennyisége. A rendszer kialakításakor figyelembe kell venni, hogy a másodnyersanyag-hasznosító piac válogatási képessége limitált (Eunomia Research & Consulting, 2002). Szem előtt kell tartani továbbá azt is, hogy a háztartások válogatási képessége (anyagok megkülönböztetése, edények száma és mérete) is korlátozott.

A gyűjtéshez hasonlóan a nehezebb fajsúlyú anyagok kezelése fajlagosan olcsóbb, míg a könnyű frakciók költségesebbek (Eunomia Research & Consulting, 2002).

A begyűjtött szelektív anyag kezelése országonként eltérő méretű létesítményekben történik. Az USA-ban a kezelő létesítmények száma nő, az alkalmazott technológia a magas műszaki megoldásoktól a kézi válogatásig terjed. Franciaországban 2013-ban az átlagos feldolgozó kapacitás 11 ezer t/év volt, ez európai összehasonlításban elég alacsony érték. A legnagyobb méretnövekedés az elmúlt 20 évben Németországban ment végbe: amíg 2000 körül 250 mű üzemelt (a legnagyobb kapacitása 40 ezer tonna/év), addig 2011-ben 92 működött (a legnagyobb kapacitása több, mint 100 ezer t/év) (Cimpan, Maul, Jansen, Pretz, & Wenzel, 2015). Más tapasztalatról számol be (Aulakh & Thorpe, 2011) az Egyesült Királyságban végzett kutatásában, ahol a hulladékgazdálkodásban működő cégek 63,8%-a 1-4 foglalkoztatottat alkalmaz.

A kezelés mérethatékonyságát vizsgálva (Carvalho & Marques, 2014) azt állapította meg, hogy a szelektív anyagok hasznosításánál 400-500 ezer ellátott fő a leghatékonyabb méret. Megállapítja továbbá, hogy az égetés rendszerbe



állítására 15%-os költségcsökkenést eredményez. A közszolgáltatás szabályozása 6%-os, míg a komposztálás bevezetése 2%-os költségnövekedést eredményez.

(Aulakh & Thorpe, 2011) ezzel szemben a kisméretű létesítmény üzemeltetése irányába történő elmozdulást feltételez. A 2020-ig tartó előrejelzésükben azt tartják valószínűnek, hogy a hulladékkezelés új módjainak terjedésével az önkormányzatok szerepe meg fog nőni az Egyesült Királyságban. Csökkenni fognak a nagyléptékű, drága projektek, ezzel együtt nő a kisléptékű, település- és térségi szintű, holisztikus szemléletmódú feldolgozó létesítmények.

A gyűjtőközpontok mellett megoldást jelenthet a hulladékképződés súlypontjaiba telepített gyűjtő- és hasznosító bázisok hálózata. Ebbe jól lehet integrálni a kis- és közepes vállalkozásokat, melyek megfelelő méretű (kisteherjármű) gépparkkal és rugalmas beosztással költséghatékonyan tudnak a központi telephelyre szállítani az elkülönítetten gyűjtött hulladékot (Vámosi, 2012). Ezt az elképzelést továbbfejlesztve, a nagyvázsonyi polgármester személyes lelkesedése által Magyarországon, Nagyvázsonyban is működik lovaskocsis szelektív gyűjtés. Ezenkívül egy próbaüzem Nagybjom térségében is folyt a 2016-ban. A tapasztalatok kedvezőnek bizonyultak: jelentős költségmegtakarítás mellett a vidéki területek 60-85%-a alkalmas a lovaskocsis gyűjtésre (településnagyságot és -szerkezetet figyelembe véve) (Arator Környezetvédelmi Kft., 2016).

A lovaskocsis gyűjtés megvalósítása során azt tapasztalták, hogy két gyűjtőjármű munkáját négy lovaskocsi és egy kisteherautó el tudja végezni. A két verzió éves költsége ugyanannyi, azonban a lovaskocsis verzió esetében jóval jelentősebb a személyi jellegű ráfordítás. Így ezt társadalmi szempontból sokkal etikusabb választásnak minősíti a szerző (Teszár, 2018.).

A regionális rendszerek mellett is indokoltnak látszik a házi komposztálás propagálása. Figyelemmel kell lenni azonban arra, hogy a helyben termelt biohulladék üzemanyaga lehet a helyi biogáz-üzemeknek. (Ballabás & Munkácsy, 2008).

Hasonló alternatív megoldásokat vázol az ENSZ tanulmánya (United Nations Environment Programme, 2005): az újrahasznosítás és a komposztálás sokféle technológiával megvalósítható. Megkülönböztethető alacsony, közepes és



magas szintű technológia. A települési szintre helyezett alacsony és közepes technológiák a leginkább megvalósíthatóak elmaradott térségekben.

(Janz, Günther, & Bilitewski, 2011) érdekes felvetése, hogy a válogató kapacitások fejlődésével érdemes-e visszaállni az egyedényes rendszerre, megtakarítva ezzel a logisztikai költségek egy részét. A vizsgálatok azt mutatták, hogy a válogató létesítmények alkalmazása drágítja a szolgáltatás összköltségét és rontja a hatékonyságot. Az anyagában történő újrahasznosítás szempontjából pedig elmondható, hogy a vegyes hulladékból kiválogatott haszonanyag jóval alacsonyabb minőségű, sőt egyes esetekben (pl. papír) meg is hiúsítja az újrahasználatot. Ezt erősíti meg az MSZ EN 643:2014 Papír és karton szabvány is, mely kimondja, hogy a mechanikai kezelőkből (a vegyes hulladékból) származó papír alkalmatlan a papíripari felhasználásra (NHKV Zrt., 2017)



3. Célkitűzés

A szakirodalom áttanulmányozása alapján nyilvánvaló, hogy a begyűjtés és előkezelés szervezése kérdésében rengeteg esetfüggő dokumentum és tanulmány készült. A rendszer alapvető építőelemeiről és azok alkalmazhatóságáról (pl. házhoz menő gyűjtés vs. gyűjtőpont) általában egyetértés uralkodik. Több cikk vizsgál konkrét gyűjtési rendszereket, összehasonlítva azok teljesítményét. Láthatóan hiányzik azonban egy olyan mérnöki szemléletű rendszerezésen alapuló folyamat modell, amely a lehetséges megoldások különféle feltételek esetén megvalósítható szisztematikus áttekintését és értékelését biztosítja. Ezt figyelembe véve jelen munkában célkitűzéseim a következők voltak:

- Egy például szolgáló „tipikus mintaterületen” keletkező lakossági hulladék mennyiségének és összetételének meghatározása;
- A racionálisan elképzelhető lakossági, lokális, kistérségi és központi elválasztási sémák, illetve az őket összekapcsoló lehetséges szállítások, valamint a folyamat végén kialakuló anyagáramok lerakással történő ártalmatlanításának és hasznosításának rendszerezett áttekintése;
- Az előzőek szerinti lehetséges begyűjtési és elválasztási sémák dinamikus szimulációs modelljének generálása a lehetséges hulladékáramok és összetételek (pl. egy éves) számítására a Programozható Struktúrák alkalmazásával, a módszert fejlesztő kutatócsoport segítségével);
- A lehetséges megoldások éves költségének egyszerűsített számításához szükséges tipikus adatok és számítási formulák meghatározása;
- Néhány példa szerinti megoldás részletes szimulációja;
- A lehetséges építőelemekből kiindulva a megoldások egy lehetséges teljes körének generálása a tipikus hulladék összetétel gyűjtési és kezelési alternatíváinak számítására (a Programozható Struktúrák alkalmazásával a módszert fejlesztő kutatócsoport segítségével);
- A nagyszámú megoldás automatikus szimulációjának és egyszerűsített költségértékelésének kísérleti próbája.



4 Adatok és módszerek

4.1 A hazai hulladékbegyűjtő és -hasznosító közszolgáltatás felépítése

A települési hulladék jellemzően a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás keretében kerül begyűjtésre. Ennek szervezeti kereteit egyre inkább az önkormányzati társulások határozzák meg. 2013-ban Magyarország 3154 településéből 2885 település volt tagja valamely társulásnak, ez lefedte a települések 91,5%-át, a lakosság 74,6%-át. (Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2014-2020., 2013.)

Magyarországon 2007-ben 780 közszolgáltató dolgozott, 2010-re ez a szám már 199-re csökkent (Köztisztasági Egyesülés, 2010). A hazai közszolgáltatás struktúrája a HT 2013-as hatálybalépése óta további jelentős átalakuláson ment keresztül. Lényeges változás, hogy 2014-től csak olyan nonprofit gazdasági társaság végezhet közszolgáltatási szolgáltatást, aminek legalább 50%-os tulajdonosa önkormányzat vagy az állam. Ezen előírás hatására a közszolgáltatók száma tovább csökkent.

Az önkormányzatok tagságával létrehozott hulladékgazdálkodási társulások által kivitelezett komplex kezelőtelepek napjainkra már általában megépültek, azonban az OHT II-ben felsorolt problémák (közelség elvének nem érvényesítése, túlzott kapacitások megépítése, bonyolult és kötött jogi rendszerek, pályázati kötöttségek stb.) nehézkessé és mindennek előtt igen költségessé tették a hulladékgazdálkodási közszolgáltatást.

Ebben a helyzetben lépett színre 2016-ban az NHKV Zrt. Az általa kidolgozott stratégiai területi átalakítás eredményeképpen 22-25 hulladékgazdálkodási régió jött létre ugyanennyi közszolgáltatóval.

A 2018-ra kialakult szolgáltatói területi struktúrát a 6. ábrán látható térkép mutatja meg (Kövecses, 2018).



6. ábra - A területi struktúra bemutatása

Forrás: (Kövecses, 2018)

Ma Magyarországon a begyűjtött hulladék kezelése regionális méretű komplex hulladékgazdálkodási létesítményekben történik. Ezek a kezelőtelepek pályázati források felhasználásával lettek kivitelezve, melyre a hulladékgazdálkodási társulások tudtak pályázni (Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2014-2020., 2013.).

2012-ben a begyűjtött települési hulladék 65,4%-a lerakóba került. Ugyanebben az évben a begyűjtött 3,99 millió tonna települési hulladék 25,5%-a anyagában újrahasznosításra, 9,1%-a pedig termikus hasznosításra került. Európai összehasonlításból kiderül, hogy a fejlett hulladékgazdálkodással rendelkező országokban a lerakás aránya alacsony (akár 1%), míg az anyagában történő hasznosítás és a termikus hasznosítás aránya magas (anyagában történő hasznosítás akár 65-70%) (Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2014-2020., 2013).

A lerakási járulék 2013-as bevezetése jelentős hatást gyakorolt az újrahasznosítási arányokra. A 2020-as célkitűzés 2015-ös adatokon alapuló teljesítése a következőképpen alakul a 11. ábra szerint (NHKV Zrt., 2017.):

11. táblázat – A HKI előírásának nem megfelelő teljesítése Magyarországon 2015-ben

Képződő mennyiség	Előírás		Teljesítés	
	tonna	%	tonna	%
1 205 000	50%	602 500	42%	506 582

Forrás: (NHKV Zrt., 2017.)

A 2014-2015 évek tendenciáit a tagállamok bevonásával vizsgálta a Bizottság is. Megállapította, hogy Magyarország a 2016-ra előirányzott 820 000 tonna helyett 944 000 tonna biológiailag lebomló hulladékot rakott le 2014-ben. Ezenkívül 2013-ban az újrahasznosítási arány 38,5% volt, mely 11,5 %-kal marad el a 2020-as 50%-tól.

Ezzel szemben az OHKT 2015-ben 394 218 tonna biológiailag lebomló mennyiségről számol be, így a kötelezettséget teljesítettnek tekinti. (NHKV Zrt., 2017.)

12. táblázat – Magyarország pozíciója az EU-ban 2017-ben

	Termelt hulladék kg/fő/év**	Kezelési módok (kg/fő/év)		
		Újrahasznosítás*	Komposztálás*	Lerakás**
EU átlag	486	144	81	113
Magyarország	385	103	32	186

* a magasabb érték a jobb

** az alacsonyabb érték a jobb

Forrás: (Eurostat, 2019.)

Magyarország 2017. évi teljesítménye alapján kijelenthető, hogy az újrahasznosítás eredményei nem maradnak el „jelentősen” az EU-átlagtól, azonban a biológiailag bomló frakció kezelése terén még nagy lépéseket kell tennünk (ld. 12. táblázat, (Eurostat, 2019.).

Jelenleg hulladék csak akkor rakható le hulladéklerakóban, ha az a rendelkezésre álló és gazdaságosan üzemeltethető kezelési technológiával nem tehető hasznos alapanyaggá, valamint anyagában és energetikailag gazdaságosan nem hasznosítható (385/2014. Kormányrendelet a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás végzésének feltételeiről, 2014).



Korát megelőző rendszert alakított ki négy település Tura vezetésével és már 2001-ben bevezették a házhoz menő szelektív gyűjtést, a begyűjtött hulladékot pedig saját válogatóművekben válogatják. 2004-től túlteljesítik a jelenlegi NHKV előírást (20 kg/fő/éves haszonanyag-kihozatal). A biohulladékot házi komposztálóládákkal kezelik (Benke, 2012). Ez a kistérségi megoldás jól mutatja a kisléptékű helyi rendszerek működőképességét.

4.2 A dolgozatban felhasznált adatok

4.2.1 A lakossági hulladék mennyiségére és összetételére vonatkozó kiindulási adatok

A lakossági hulladék mennyisége az országos statisztika alapján 372 kg/fő/év volt (13. táblázat). Ebbe a mennyiségbe beleszámít a gazdálkodó szervezetek, intézmények által termelt hulladék is, amely jellemzően a nagyobb településekre koncentrálódik.

13. táblázat – Vegyes és elkülönítetten gyűjtött hulladékmennyiségek Magyarországon (ezer tonna)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Hagyományosan gyűjtött	4 311	4 074	3 861	3 664	3 278	2 972	2 972	2 751	2 976	2 917	2 875
Elkülönítetten gyűjtött	400	520	692	648	755	837	1 015	987	819	795	846
Összesen	4 711	4 594	4 553	4 312	4 033	3 809	3 987	3 738	3 795	3 712	3 721

Forrás: KSH

Egy átlagos vidéki település hulladéktermelése az országos átlagtól jelentősen eltér, annál kevesebb. A KVG Zrt. és a DDH Nonprofit Kft. által ellátott szolgáltatási területen ez az érték 170-240 kg/fő/év környékén mozog. Modellünkben 231 kg-os értékkel számoltam.

A települési hulladék összetételére vonatkozóan a KSH közöl adatokat, melyet a 14. táblázatban mutatok be. Ezzel azonban az a nehézség, hogy csak a közszolgáltatás keretében elszállított hulladék összetételét mutatja, és nem tartalmazza az egyéb szereplők által begyűjtött hulladékot (pl. másodnyersanyagok).

14. táblázat - A közszolgáltatás keretében elszállított települési hulladék összetétele (2006–) [%]

Hulladék	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Papír	12,7	18,9	18,4	18,8	14,8	14,7	13,3	14,0	12,9	13,4
Textil	3,4	3,9	3,9	3,7	3,5	3,5	3,6	3,4	3,2	3,5
Műanyag	11,8	18,3	18,3	19,1	15,6	15,5	16,3	16,5	14,5	13,0
Üveg	3,7	4,0	4,1	4,0	4,4	4,1	4,4	4,1	3,5	3,5
Fém	2,8	2,6	2,9	2,9	3,1	3,3	3,2	3,0	2,2	1,8
Bio	22,0	20,2	21,3	20,7	19,2	19,0	20,3	21,0	22,9	22,5
Lomtalanítási	3,1	3,6	3,6	3,5	3,1	2,9	2,7	2,4	2,4	3,1
Egyéb	40,6	28,6	27,5	27,1	35,8	36,5	35,8	35,0	37,9	38,6
Veszélyes hulladék	0,2	0,4	0,6	0,4	0,6	0,5	0,7

Forrás: KSH

Mindezt figyelembe véve a hulladék összetételére a 2006-os Faitli-féle felmérés 20 mm-es rostával mért eredményeit vettük alapul (15. táblázat). Az összetétel-vizsgálat a már ismertetett magyar szabvány frakcióosztásával készült el.

Az analízisben felsorolt frakciókon túl a jogszabályban és az OHKT-ban több hulladékfrakciót is azonosítottam (ez sem ekvivalencia-osztályozás sajnos). Az elkülönített gyűjtés szempontjából lényeges frakciókat kiemeléssel jelöltem, feltüntetve a tömegszázalékban kifejezett arányukat is¹¹ (16. táblázat).

15. táblázat – A Faitli-féle hulladékanalízis eredményei

m/m%	Frakciók						
	Bio	Papír	Karton	Kompozit	Textil	Higiéniiai	Műanyag
Átlag	31,2	9,9	4	2,3	3,9	3,9	14,9

	Éghető	Üveg	Fém	Éghetetlen	Veszélyes	Finom
Átlag	1,9	3,8	3,5	2,1	0,5	18,3

Forrás: (Faitli, és mtsai., 2006)

¹¹ A kerekítések miatt nem adja ki az összeg a 100%-ot.

16. táblázat – A szabványban és egyéb lényeges dokumentumokban azonosított hulladékfrakciók

		m/m %	
rostaméret:		20 mm	50 mm
K0	vegyes települési hulladék		
K1	biológiailag lebomló	31,2	14,6
K1b	zöldhulladék		
K2	papír	9,9	6,7
K3	karton	4	2
K4	kompozit	2,3	1,1
K5	textil		
K6	higiéniai hulladék		
K7	csomagolási műanyag	14,9	12,1
K7b	nem csomagolási műanyag		
K8	éghető		
K9	üveg	3,8	3,7
K10	csomagolási fém	3,5	2,9
K10b	nem csomagolási fém		
K11	éghetetlen		
K12	veszélyes		
K13	<20mm		
K14	lom		
K15	inert		
K16	gumiabroncs		
K17	pelenka		
K18	veszélyes elektronika		
K19	elektronika		
K20	kezelés utáni energetikára		
K21	fa csomagolás		
K22	tetra	1,15	

Forrás: saját szerkesztés (Faitli, és mtsai., 2006) és saját adatok alapján



4.2.2 A begyűjtésre és előkezelésre vonatkozó technológiai és gazdasági adatok

A dél-dunántúli régió településszerkezete gyűjtés-logisztikai szempontból kedvezőtlen: jellemző rá az aprófalvak- és kistelepülések nagy aránya, a középvárosok hiánya (NHKV Zrt., 2017.). Ezért a hagyományos tömörítőgépes gyűjtési mód költsége aránytalanul nagy lehet a koncentráltabb hulladéktermelő településekhez képest.

A tisztán vegyeshulladék-gyűjtésről elkülönített gyűjtési rendszerre történő áttérésnél a következő kérdéseket kell elemezni (Eunomia Research & Consulting, 2002):

- mely anyagok legyenek elkülönítetten gyűjtve (vegyesen/keverten gyűjtött frakciók kérdése);
- milyen módon legyenek gyűjtve, és ez hogy befolyásolja majd a vegyes hulladék gyűjtését;
- milyen hatékony lesz a választott módszer a hulladékgazdálkodási célok teljesítése szempontjából.

Fenti felsorolás elsősorban technikai jellegű kérdéseket vet fel, azonban a tanulmány megemlíti a kitűzött célok teljesítésének kérdését is.

Az Országos Hulladékgazdálkodási Ügynökség vezetőjének 2012-es előadása mutatja, hogy az OHÜ ekkor már kiemelten foglalkozott a visszagyűjtési arányok növelésével. (A Hulladék Keretirányelv 2008. végén lépett hatályba, és két évet adott a tagállamoknak a nemzeti jogrendbe való átültetésre. Ez Magyarországon a 2013. január 1-én hatályba lépett Hulladék törvénnyel történt meg.) (Vámosi, 2012) előadásában bemutatta az alapvető szempontokat, melyeket figyelembe kell venni az ideális helyi gyűjtőrendszerek kialakításakor:

- település népességének eloszlása;
- településszerkezet;
- népsűrűség;
- jövedelmi viszonyok;
- fogyasztási szokások;
- környezettudatosság szintje;



5 környezetvédelmi elvárások;

Jól látszik, hogy a szempontrendszer a technikai megvalósítás szintjén mozog, nem vizsgálja a felelősségi viszonyokat.

Minél jobban szétválogatásra kerül a háztartásban a hulladék, annál kisebb hatékonysággal lesz képes a gyűjtőrendszer azt begyűjteni. (Eunomia Research & Consulting, 2002)

A (Köztisztasági Egyesülés, 2003) tanulmányában jól összefoglalja a lehetséges gyűjtési módokat, megemlítve azok előnyeit és negatívumait is.

1. Hagyományos gyűjtőjármű és átalakított szabványedényzet

Előnye: - szabvány jármű és edényzet használata

Hátránya: - a vegyes hulladékhoz hasonlatos gyűjtőeszközök
- nagy gyűjtési munkaerőigény
- csak tömörítőlapos gyűjtőjárművek alkalmazhatók, forgódobosok nem

2. Helyszíni kiürítést biztosító konténeres gyűjtőjármű és egy- vagy többkamrás gyűjtőedényzet

Előnye: - egyértelműen azonosítható edények, rugalmasan skálázható kontingens

Hátránya: - önálló gyűjtő-szállító rendszer kiépítése szükséges

3. Görgős nagykonténeres jármű cserekonténeres gyűjtőedényzettel kombináltan

Előnye: - önálló rendszerként üzemel
- kis munkaerőigény

Hátránya: - a nagyméretű edények miatt telepítése korlátozott
- többfrakciós változatban rugalmatlan kihasználás

A hulladékgazdálkodási tervezés egyik alapvető információja a tevékenységek költségeinek ismerete. Azonban a költségek megfelelő struktúrája és azok megalapozottsága nem áll teljeskörűen rendelkezésre. Így azok meghatározására a következő módszerek alkalmazhatók (Parthan, Milke, Wilson, & Cocks, 2012):

- fajlagos költség módszer: minden tevékenység elemi költsége meghatározásra kerül, az összköltség lineáris a mennyiséggel;



- benchmark: hasonló szervezetek adatainak felhasználása, azonban az átültetés többletinformációt igényel, ami általában nem áll teljeskörűen rendelkezésre. (Ft/fő, Ft/kg, Ft/m³ stb.);
- költségmodellezés: termelési és költségfüggvények valamint rendszermodellezés.

A különböző gyűjtési rendszerek költségeinek összehasonlításánál a Ft/t mutató félrevezető lehet. Sokkal alacsonyabb lehet egy nagy fajlagos sűrűségű vegyes hulladékot gyűjtő rendszer költsége, mint a könnyű frakciókat is elkülönítetten gyűjtő rendszer költsége, miközben a létrehozott gazdasági érték (nem beszélve a környezetről) ez utóbbinál jóval magasabb. A kiegyensúlyozottabb értékelés érdekében vizsgálni szükséges a háztartásonkénti költséget is. (Eunomia Research & Consulting, 2002)

A háztartásonkénti költségen túl a rendszerek tervezésénél célravezető lehet még a gyűjtési költségek anyagfajtánként történő meghatározása, mely figyelembe veszi a különböző szelektív anyagok jelentősen eltérő fizikai tulajdonságait is. Ily módon közöl adatokat a (Köztisztasági Egyesülés, 2003) összefoglaló anyaga 2001-ben. Ennek alapján egy kg papír begyűjtési költsége 6-8 Ft, műanyag esetén 40-50 Ft, üvegnél 7-10 Ft.

A Köztisztasági Egyesülés 2010-ben érdekes kimutatást készített, mely más szemszögből mutatja a gyűjtési költségeket a 17. táblázat szerint. Az adatok tagvállalati adatközlésekből származnak. A „Szállítási költség” oszlop a lakossági hulladékgyűjtés költségeit mutatja az olyan körzetekben, amelyek a lerakótól 5-10 km-es távolságban vannak. Az ennél messzebb végzett gyűjtési tevékenységnél már megkülönböztetjük a gyűjtési és a szállítási fázisokat. A szelektív anyagok szállítási többletköltsége is megjelenik a táblázatban. Az megállapítható, hogy az Egyesülés tagvállalatainak üzemelése óriási mértékben eltérő költséggel valósul meg. Ez a különböző adottságoknak, költségtermelő elemeknek köszönhető. Van egy olyan sejtésem is, miszerint a cégeknél rendelkezésre álló költségkimutatások megalapozottsága jelentősen függ a költségek gyűjtésének kifinomultságától és a controlling csoport munkájának minőségétől.

17. táblázat – Közszolgáltatói felmérés adatai a gyűjtés és lerakás költségeiről

		Szállítási költség	Lerakási költség	Szállítási többletköltség
		Ft/t	Ft/t	Ft/t/km
Felügyelőség 1	Szolgáltató 1	6 213	6 250	19
	Szolgáltató 2	16 445	5 025	26
	Szolgáltató 3	4 498	4 500	56
Felügyelőség 2	Szolgáltató 4	15 207	6 069	
	Szolgáltató 5	7 821	5 726	46
Felügyelőség 3	Szolgáltató 6	7 524	6 000	56
	Szolgáltató 7	9 530	4 725	
	Szolgáltató 8	8 280	3 126	
	Szolgáltató 9	5 610	5 585	
Felügyelőség 4	Szolgáltató 10	10 136	7 729	
	Szolgáltató 11	3 750	3 126	
	Szolgáltató 12	12 648	3 616	216
Felügyelőség 5	Szolgáltató 13	14 008	4 340	187
	Szolgáltató 14	19 073	9 491	323
Felügyelőség 6	Szolgáltató 15	8 093	3 977	95
	Szolgáltató 16	18 375	11 429	
	Szolgáltató 17	10 000	11 000	100
Felügyelőség 7	Szolgáltató 18	4 450	1 650	
	Szolgáltató 19	10 400	6 500	24
Felügyelőség 8	Szolgáltató 20	15 462	7 053	
	Szolgáltató 21	18 250	4 500	
Felügyelőség 9	Szolgáltató 22	12 207	6 500	41
	Szolgáltató 23	11 160	4 380	32
Átlag		10 832	5 752	94
Szórás		4 690	2 411	93

Forrás: (Köztisztasági Egyesülés, 2010) alapján saját szerkesztés

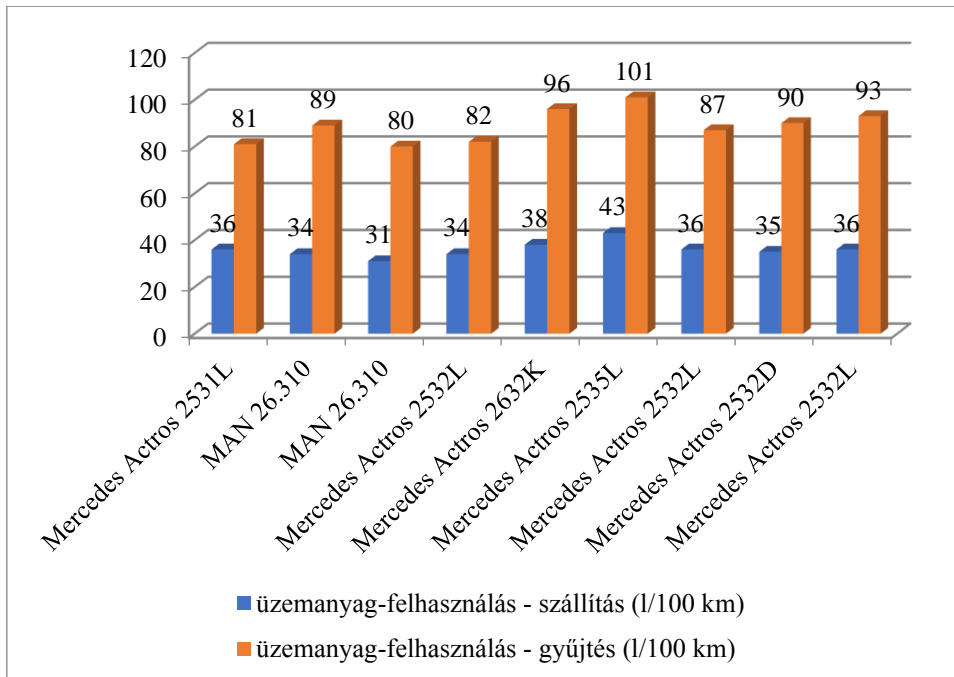
A gyűjtési és szállítási fázis különböző költségeit jól mutatja a háromtengelyes gyűjtőjárművek fogyasztása, melyet saját kutatás alapján mutatok be a 7. ábrán (Trenyik, 2016).

A gyűjtés hatékonysága sokkal alacsonyabb, amikor az elkülönítetten gyűjtött műanyag hulladék önálló hulladékáramként kerül begyűjtésre, és magasabb, amikor más hulladékáramokkal gyűjtik együtt, későbbi válogatással.

A gyűjtési költségek csökkenthetőek (a házhoz menő gyűjtéshez képest) gyűjtőpontok kijelölésével. A gyűjtőpontos gyűjtés további előnye, hogy ez településszerkezettől függetlenül viszonylag állandó költséggel bír, míg a

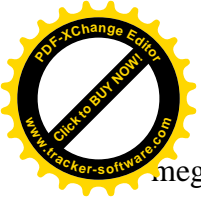
házhoz menő gyűjtést a települések adottságai jelentősen befolyásolják (Groot, Bing, Bos-Brouwers, & Bloemhof-Ruwaard, 2014).

7. ábra– Háromtengelyes gyűjtőjármű üzemanyag-fogyasztása szállításkor és gyűjtéskor



A könnyű frakciók begyűjtése tehát (azok mennyiségében kifejezve) jóval költségesebb, mint a vegyes, üveg, papír frakcióké. A szelektív anyag mennyiségének növekedésével azonban a fajlagos költségek csökkenhetnek. (Eunomia Research & Consulting, 2002). A gyűjtési és kezelési költségeket is figyelembe véve a legdrágább frakciók a műanyag (161 EUR/t) és a kevert csomagolási (157 EUR/t) áramok, szemben a papír 95 EUR/t és az üveg 67 EUR/t költségével (Rigamonti, Ferreira, Grosso, & Marques, 2015).

A gépjármű-kapacitás fontosságát megerősíti (Ramos, Gomes, & Barbosa-Póvoa, 2014) is, amikor megállapítja, hogy a műanyag/fém frakció sűrűsége a legkisebb, így a jármű kapacitása is erre a legkisebb. Következésképpen több gyűjtőjárat, hosszabb út megtételével fogja ezt a frakciót begyűjteni. Érdekes járatszervezési megközelítést alkalmaznak. Két alapvető szervezési elvet különböztetnek meg az önkormányzati határok figyelembevételével és a gyűjtendő anyag fajtája alapján. E két alapelv telephelyekhez köti az autókat és a munkát. Javasolt szervezési elvei feloldják ezt a szigorú kötöttséget,



megosztva a munkát és járműveket a további hatékonyságnövelés érdekében, csökkentve ezzel az üres (rakomány nélküli) kilométerek számát.

A 18. táblázat az olasz gyűjtési és szállítási költségeket mutatja be (Rigamonti, Ferreira, Grosso, & Marques, 2015):

18. táblázat – A szelektív anyagok házhoz menő gyűjtésének költsége (olaszországi átlag)

Anyag	Euro/t
kevert gyűjtés	86,5
üveg	67,4
műanyag	161,1
papír	96,1
papír (nem csomagolási)	95,1
fa	77,3
fa (nem csomagolási)	50,8

Forrás: (Rigamonti, Ferreira, Grosso, & Marques, 2015)

A gyűjtés hatékonysága érdekében az egyes frakciók gyűjtési gyakoriságának meghatározása jelentős feladat. Az egyes hulladékfajtákra különböző kötelező ürítési frekvencia meghatározása szükséges. Ez az elsődleges feladat, amihez az ingatlan-tulajdonosoknak igazodni kell az alkalmazott gyűjtőedények méretével.

A Magyarországon régóta megszokott gyűjtési gyakoriságok jelentősen megváltoztak 2018. júliusától. A 13/2017. (VI. 12.) EMMI rendelet bevezette a téli (november 1-március 31.) és a nyári (április 1-október 31.) időszakok különböző gyűjtési gyakoriságát. Egyelőre nem mutatkozik a települések részéről a téli-nyári váltás gyakoriságának az igénye. Ez valószínűleg annak köszönhető, hogy még nem tudatosult a jogszabályi változás lényege. Még egy évtizede is volt Magyarországon olyan település, ahonnan havi gyakorisággal lett elszállítva a kommunális hulladék. A vidéki térségekben pedig általános gyakorlat volt a nyáron heti, télen kétheti gyakoriság. Ez két különböző járatterv készítését igényelte a közszolgáltató részéről. A gyűjtési gyakoriság csökkentésének oka az volt, hogy a közszolgáltatás díját a gyűjtési gyakoriság és a gyűjtőedény méretének szorzata határozza meg. Ez a megoldás azonban közszolgáltatói és államigazgatási nyomásra korábban kiszorult az



gyakorlatból. Múlt év júliustól azonban újra alkalmazhatóvá vált ez a megoldás, annak munkaszervezési bonyolultságával és közegészségügyi problémáival együtt (ugyanis a nyáron heti 120 liter hulladékot termelő háztartás nem fog a gyűjtési gyakoriság felére csökkentésével párhuzamosan 240 literes edényt beszerezni) (19. és 20. táblázatok). Járatszervezési szempontból pedig a közszolgáltató évente kétszer át kell, hogy hangolja a gépi és emberi kapacitását, téli-nyári járatrendek készítésével.

19. táblázat – Vegyes hulladék gyűjtési gyakorisága 2018. július 2-től

OTÉK szerinti területi besorolás	szállítási gyakoriság	
nagyvárosias	legalább hetente kétszer	
kisvárosias	legalább hetente egyszer	
kertvárosias		
településközpont és intézményi vegyes terület		
falusias	november 1. és március 31. között legalább kéthetente egyszer	április 1. és október 31. között legalább hetente egyszer
üdülőházas		
hétvégi házas		
egyéb terület		

Forrás: (EMMI, 2017)

20. táblázat - Zöldhulladék gyűjtési gyakorisága 2018. július 2-től

OTÉK szerinti területi besorolás	szállítási gyakoriság	
	november 1- március 31.	április 1-október 31.
nagyvárosias	legalább kéthetente egyszer	legalább hetente egyszer
kisvárosias		
kertvárosias		
településközpont és intézményi vegyes terület	legalább havonta egyszer	legalább kéthetente egyszer
falusias		
üdülőházas		
hétvégi házas		
egyéb terület		

Forrás: (EMMI, 2017)

A gyűjtési kapacitás kalkulációjához szükséges a különböző anyagfajták sűrűségének ismerete is. A hulladék összetevőinek tömeg és térfogat

viszonyairól ad információt (Klien & Loser, 2009). A 21. táblázat „Sűrűség” oszlopa általam számított érték, mely megmutatja a különböző hulladékaromok sűrűségének jellemző értékeit.

21. táblázat – Különböző hulladékaromok tömeg- és térfogatarányaiból számított sűrűségek

	Tömegarány m/m%, kg	Térfogatarány v/v%, m ³	Sűrűség (kg/m ³)
maradék hulladék	40,4	37,2	109
lom	6,9	8,6	80
különleges hulladék	1,2	1,5	80
papír csomagolás	17,6	14,5	121
üveg	5,6	3,1	181
fém csomagolás	0,9	2,4	38
fém	2,9	1,8	161
könnyű csomagolás	3,7	18,4	20
textil	0,7	0,7	100
fa	3,5	1,2	292
egyéb	0,5	0,6	83
biohulladék	16	9,9	162

Forrás: (Klien & Loser, 2009) alapján saját szerkesztés

A tipikus vidéki település jellemző adatainak megállapítása is szükséges volt a modell kialakításához. Ezért a KSH adatbázisokat felhasználva (Éves településstatisztikai adatok az egyes évek (2001-2014) szerinti településstruktúrában) összegyűjtöttem Somogy megye településeinek következő adatait:

- a vizsgált időszak;
- a település neve;
- az összes elszállított települési hulladék (t);
- a lakosságtól elszállított települési hulladék (t);
- a rendszeres hulladékgyűjtésbe bevont lakások száma (darab);
- a szelektív hulladékgyűjtésbe bevont lakások száma (darab);
- a lakosságtól szelektív hulladékgyűjtésben elszállított települési hulladék (tonna);
- a rendszeres hulladékgyűjtésbe bevont üdülők száma (darab);
- az állandó lakosok száma az év végén (fő);



- a település területe (km²);
- az önkormányzati kiépített út és köztér hossza (km);
- az önkormányzati kiépített út és köztér hosszából a belterületi elsőrendű főutak hossza (km);
- az önkormányzati kiépítetlen út és köztér hossza (km);
- az állami közutak hossza (km);

Az összegyűjtött statisztikai adatokból mutat be egy részletet a 22. táblázat. Érdekes módon a KSH az egyes években eltérő adattartalmat közöl ugyanabban a táblázatban. Például a hulladékgyűjtésbe vont ingatlanok száma utoljára a 2012. évi közlésben jelenik meg, míg úthosszakra vonatkozó információ ebben az évben nem volt, viszont közzétételre került 2014-ben. Az adatok alapvetően statikusak, így a különböző évek ugyanazon adattartalmi nagy biztonsággal felhasználhatóak egy táblázatba összerakva. Mindamelllett a táblázat nyilvánvalóan illusztrálja az egységes és koherens adatgyűjtés hiányát.

A modell felépítésekor tehát jelentős mennyiségű, de nem koherens adat került felhasználására a változás elemek (szállítások és elválasztások)¹² fajlagos költségeinek meghatározásához. A tárolásokat leíró állapot elemeknek¹³ nincs költsége, kivéve a létrehozott haszonanyagokat és lerakásokat, melyeket bevétellel vagy kiadással járó terminális elemként kezeltünk.

A 23-26. számú táblázatok csoportosítva mutatják be a válogatáshoz, szállításhoz kapcsolódó költségeket, valamint a terminális elemek költségét vagy árbevételét. A költségeket a KVG Zrt., a DDH Nonprofit Kft és a KHG Nonprofit Kft. működése során keletkezett adatok, mérnöki becslések és számítások alapján jelen munka keretében számítottuk ki. A részletes táblázatok formájuk és terjedelmük miatt az elektronikus mellékletben található meg.

¹² a modellben a szállítások és a hulladékkezelési eljárások jelentik a változásokat (transitions)

¹³ az állapotok (states) a változások közti tárolásokat határozzák meg

22. táblázat – A KSH 2012. és 2014. évi adatai hulladékgyűjtésre és utak hosszára vonatkozóan (részlet)

Időszak	2012	2012	2014	2014
Megye	Somogy	Somogy	Somogy	Somogy
Település	Ádánd	Alsóbogát	Ádánd	Alsóbogát
Összes elszállított települési hulladék (tonna)	487	45,9	378,1	44
A lakosságtól elszállított települési hulladék (tonna)	326	37,9	327,2	41,3
Rendszeres hulladékgyűjtésbe bevont lakások száma (db)	773	82		
Szelektív hulladékgyűjtésbe bevont lakások száma (db)				
A lakosságtól szelektív hulladékgyűjtésben elszállított települési hulladék (tonna)				
Rendszeres hulladékgyűjtésbe bevont üdülők száma (db)	22			
Lakónépeség száma az év végén (a népszámlálás végleges adataiból továbbvezetett adat (fő))	2 124	256	2 125	239
A település területe (km ²)	29,52	12,01	29,51	12,01
Önkormányzati kiépített út és köztér hossza (km)			13,7	2,7
Önkormányzati kiépített út és köztér hosszából a belterületi elsőrendű főutak hossza (km)				
Önkormányzati kiépítetlen út és köztér hossza (km)			12,8	13
Állami közutak hossza (km)			2,552	1

Forrás: (KSH: Éves településstatisztikai adatok az egyes évek (2001-2014) szerinti településszerkezetben)

23. táblázat – A válogatás lehetséges elemeinek fajlagos költségei (összesítés)

Leírás	Kód	Ft/kg
ingatlan válogatási sémája	S101-S320	
mechanikai kezelés, válogatás-bálázás verziói	mk - val_bal_	3-30
lokális átsomagolás	lok_atcsom 1-30	4-5
lokális válogatás	lok_val 1-25	8-23
kistérségi válogatás	kisters_val 1-25	8-23
komposztálás	komp 1-4	3

24. táblázat – A szállítás lehetséges elemeinek fajlagos költségei I. (összesítés)

Leírás	Kód	Jármű kapacitása (kg)	Begyűjtés költsége (Ft/gyűjtéskm)	Gurulás költsége (Ft/km)
tömörítő jármű	tomoritos 1-53	900-1 000	3000-3100	380-400
láncos konténerűritő	konteneres 1-35	125-3 250	0	280
horgos konténeres jármű	ml 1-28	660-12 000	0	300-310
darus jármű	darus 1-27	625-11 500	0	300-311
kisteher-jármű	kisteher 1-15	175-950	1 250	180
alternatív jármű	alt 1-12	125-650	750	450

25. táblázat - A szállítás lehetséges elemeinek fajlagos költségei II. (összesítés)

Kód	Konténer/tartály ürítés költsége (Ft/óra)	Konténer/tartály ürítés időszükséglete (óra/konténer)	Konténer/tartály tömeg kapacitása (kg)
tomoritos 1-53	10 000	0,066-0,2	22-3 250
konteneres 1-35	8 000-10 000	0,2	110-3 250
ml 1-28	8 000-10 000	0,2-0,22	660-12 000
darus 1-27	8 000-10 000	0,2-0,5	33-7 500
kisteher 1-15	0	0	0
alt 1-12	0	0	0

26. táblázat – A terminális elemekhez kerülő anyagok költsége¹⁴

Leírás	Kód	Költség (Ft/kg)
fém	fe_fem_ert	-6
deponálás	lerakas	12
RDF	rdf_ert	-1
vegyes papír	vegyes_papir_ert	-20
hullámpapír	hullam_papir_ert	-33
tetra	tetra_ert	-6
PET	PET_ert	-60
PE	PE_ert	-50
egyéb műanyag	egyeb_M_ert	-15
nem vasfém	nemfe_fem_ert	-300
üveg	uveg_ert	-2

4.3 Folyamathálózatok modellezése a Programozható Struktúrák módszerével

A különböző hulladékgyűjtési és -feldolgozási módszerek szisztematikus elemzése az egymást követő tárolási (state) és szétválasztási / szállítási (transition) elemekből álló összetett struktúrák algoritmikus generálását, illetve az egyes megoldások dinamikus szimulációját igényli. A folyamatok többsége idő- vagy eseményvezérelt. Ezt figyelembe véve a lehetséges folyamathálózatok elemzésére a Programozható Struktúrák közelmúltban kifejlesztett módszerét választottuk.

A „folyamat típusú rendszerek” mérnöki módszertana (Process Systems Engineering, PSE) a vegyészmérnöki folyamatok modellezéséből fejlődött ki a 60-as években. Időközben a PSE alkalmazási területe jelentősen kiszélesedett. Mára különböző alkalmazási területek folyamat típusú rendszereinek általános problémamegoldó eszközei fejlődtek ki a PSE alapjain (Grossmann & Westerberg, 2004).

A dinamikus folyamatmodelleket hagyományosan differenciálegyenletek, parciális differenciálegyenletek vagy differenciál-algebrai egyenletek

¹⁴ Mivel a modell célfüggvénye a legalacsonyabb működési költség, így a haszonanyag-értékesítésből származó árbevétel negatív előjellel jelenik meg.



rendszerével írják le pl. (Marquardt, 1996). Ezek a modell alapú szoftvereszközök a hagyományos vegyészmérnöki alkalmazásokhoz rendelkezésre álló adatbázisok hiányában a más jellegű (esetünkben hulladékgazdálkodási) folyamatokra azonban csak korlátozottan alkalmazhatóak.

Másfelől a növekvő mennyiségű „big data” ellenére az ilyen jellegű folyamatok tervezéséhez és üzemeltetéséhez szükséges adatok és ismeretek egységes elérhetősége nem biztosított, ezért az adatelemzésen (adatbányászon) alapuló módszerek alkalmazhatósága is kérdéses.

A dinamikus szimuláción alapuló megoldások helyett a PSE területén manapság gyakran a matematikai programozás (pl. MILP, MINLP) különböző eszközeit (pl. GAMS) alkalmazzák a komplex folyamatok egyszerűsített modellen alapuló optimalására (pl. (Hjaila, Laínez-Aguirre, Puigjaner, & Espuna, 2015)). A modell ehhez szükséges egyszerűsítése miatt azonban sokszor nehéz az idő- és/vagy eseményvezérelt dinamikus folyamatok figyelembevétele. A komplex, idő- és eseményvezérelt kölcsönhatások dinamikus kezelését a hálózat analízisen alapuló módszerek (Barabási, 2013) sem támogatják.

A Közvetlen Számítógépi Leképezésen (Direct Computer Mapping, DCM) alapuló modellezési és szimulációs módszer alapja az, hogy a folyamat típusú rendszerek modelljeinek építőelemei közvetlenül leképezhetők egy számítógépi programra, amihez nincs szükség egy specifikus matematikai apparátus felhasználására (Csukás, 1998), (Csukás, és mtsai., 1999), (Csukás, Varga, & Balogh S., 2011). Ezt az elvet eredményesen alkalmazták különböző technológiai folyamatok (pl. (Csukás, és mtsai., 1999), (Temesvári, Aranyi, Csukás, & Balogh, 2004), (Csukás, és mtsai., 2013)), anaerob fermentációs folyamat (pl. (Varga, 2009)) vagy szektorokon átívelő agrár-élelmiszeripari folyamatok nyomonkövetésére (pl. (Varga, Csukás, & Balogh, 2012)).

A Programozható Struktúrák módszere (Programmable Structures, PS) a DCM továbbfejlesztése eredményeként alakult ki az utóbbi években. A Programozható Struktúrák módszere általános megoldást nyújt a komplex folyamatmodellek automatikus generálására és végrehajtására. A modell generálás a folyamathálózat deklarációjából és két általánosan használható



funkcionális alapelem GraphML definíciójából indul ki. A Programozható Struktúrák módszerét eredményesen alkalmazták a Balaton egy vízgyűjtő területének földhasználatot is figyelembe vevő hidrológiai modellezésénél (Varga, Balogh, & Csukás, 2016), recirkulációs akvakultúra rendszerek vizsgálatánál (Varga, Balogh, Wei, Li, & Csukás, 2016), sejten belüli signaling folyamatok leírására (Varga, Prokop, & Csukás, 2016), ökológiai táplálékhálózatok modellezésénél (Varga & Csukás, 2017), valamint halastavi akvakultúra rendszerek vizsgálatánál (Gyalog, Varga, Berzi-Nagy, Halasi-Kovács, & Csukás, 2018).

A Programozható Struktúrák jelenlegi implementációja (Varga & Csukás, 2017) könnyen módosítható, bővíthető és összekapcsolható módszert biztosít a különféle multidiszciplináris folyamatok szimuláción alapuló elemzéséhez, tervezéséhez és irányításához. A struktúra és a funkcionalitások egységesített kezelése segíti az állapot és változás elemekből álló folyamat modellek automatikus generálását, egyúttal a feladat-specifikus kezdeti jellemzők és paraméterek automatikus feltöltését. A lokális programok egyedileg szerkeszthetők egy grafikus felületen keresztül is. A modellek generálását és végrehajtását egy deklaratív nyelven (Prolog) írt általános alapprogram támogatja. A módszer egy fontos jellemzője, hogy a lehetőségek és az értékelések leírása az állapot- és változáselemekbe ágyazhatók. Ez támogatja a szimulátor összekapcsolását a feladatmegoldást segítő különféle külső (pl. irányító vagy szuboptimális tervezést segítő) algoritmusokkal.

Dolgozatomban témavezetőm kutatócsoportjával együttműködve a Programozható Struktúrák módszerét alkalmaztuk a lehetséges hulladékgyűjtési és feldolgozási alternatívák generálására, valamint a megoldások dinamikus szimuláción alapuló értékelésének kísérleti kipróbálására.



5 Eredmények és értékelésük

A szakirodalmi ismeretek és saját adatgyűjtésem alapján kitűztem a dolgozatban elérni kívánt célokat. Az elért eredményeket a célkitűzések logikáját követve mutatom be.

5.1 Egy tipikus településrendszer lakossági hulladékának meghatározása

Az adott területen termelt hulladék mennyisége hétről-hétre változik. Befolyásolja az aktuális fogyasztás mértéke, annak összetétele, és az évszak. Az összetétel is sok tényező függvénye. A mennyiség és az összetétel együttesen meghatározzák a keletkezett hulladék elkülönítési fokának maximumát, a hulladéktermelő magatartása pedig kialakítja a végső különgyűjtési százalékokat. Jelen munkában a teszteléshez jellemző átlagos adatokat használtam, de a kipróbálandó módszer a későbbiekben egyszerűen alkalmassá tehető az időben változó jellemzőkkel való számításra is.

A modellezés során a példaként szolgáló tipikus település rendszer 10 000 ingatlannal rendelkezik. A KSH települési adatai alapján a vidéki lakosság körében 1 ingatlanban átlagosan 2,635 fő lakik. A modellben egy fő éves hulladéktermelését 231 kg/fő/évben állapítottuk meg. Ezt foglalja össze a 27. táblázat.

27. táblázat – Az ingatlanok hulladéktermelési alapadatai

ingatlanszám (db)	10 000
fő/ing	2,635
kg/fő/év	231
kg/ing/hét	11,715

A település éves hulladéktermelése így 6 091,8 tonna. Havi és heti mennyiséget nem szükséges meghatározni, hiszen a gyűjtési gyakoriság az egyes frakcióknál jelentősen eltérhet. Így a hulladékmennyiséget a modellezés során a napi keletkezés alapján határoztuk meg frakciónként.

A hulladék összetételénél a kiindulási frakciók meghatározásánál a Magyar Szabvány felosztásából indultam ki. További fontos dokumentumok (OHT,



OHKT, 385/2014. Kormányrendelet) azonban egyéb frakciókat is azonosítanak. Ezekén túl önálló hulladékáramnak tüntettem fel a társított italos karton csomagolást.

A fent felsorolt anyagokban szereplő frakciókat a 28. táblázat mutatja be.

28. táblázat – A stratégiai fontosságú dokumentumokban megjelenő hulladékáramok

K0	vegyes települési hulladék
K1	biológiailag lebomló
K1b	zöldhulladék
K2	papír
K3	karton
K4	kompozit
K5	textil
K6	higiéniai hulladék
K7	csomagolási műanyag
K7b	nem csomagolási műanyag
K8	éghető
K9	üveg
K10	csomagolási fém
K10b	nem csomagolási fém
K11	éghetetlen
K12	veszélyes
K13	<20mm
K14	lom
K15	inert
K16	gumiabroncs
K17	pelenka
K18	veszélyes elektronika
K19	elektronika
K20	kezelés utáni energetikára
K21	fa csomagolás
K22	tetra

Ez azonban nem ekvivalencia-osztályozás, és így nem képezheti az elválasztások szisztematikus elemzésének alapját. Kutatásom témáját illetően több fenti frakció figyelmen kívül hagyható. A jogszabályokban előírt visszagyűjtési kötelezettségek és a realitások alapján a 29. táblázatban felsorolt frakciók lehetnek relevánsak. A táblázat tartalmazza a frakciók tömeg arányait is. Ezek az arányok jelentik a szelektív gyűjtés maximális lehetőségét. A 2006. évi hulladékanalízis természetesen az anyagi minőség meghatározásakor nem vette figyelembe annak (pl. ételmaradékkal való) szennyezettségét, így a visszagyűjtési scenárióknál majd szükséges lesz az egyes frakciók

visszagyűjtési arányát is meghatározni. Látható, hogy az életszerűen újrahasznosítható anyagok elméleti maximuma 70,75 %, melyből 31,2 % a biohulladék aránya.

29. táblázat – A modelltértség kiinduló hulladékáramai, azok aránya és mennyisége

Kód	Megnevezés	m/m%	Mennyiség (t/év)
K 0	vegyes települési hulladék	29,25	1781,85
K 1	biológiailag lebomló	31,2	1900,64
K 1b	zöldhulladék		
K 2	papír	9,9	603,1
K 3	karton	4	243,67
K 4	kompozit	2,3	140,1
K 7	csomagolási műanyag	14,9	907,68
K 7b	nem csomagolási műanyag		
K 9	üveg	3,8	231,49
K 10	csomagolási fém	3,5	213,21
K 10b	nem csomagolási fém		
K 22	tetra	1,15	70,06

A például szolgáló település hulladékmennyiségei tehát elsődlegesen a 29. táblázat szerint alakulnak. Lényeges azonban, hogy ezek a kategóriák és tömegarányaik nem azonosak a modellben használt hulladékáramokkal, ahol bizonyos áramok összevonásra, illetve szétválasztásra kerültek (pl. egyéb műanyagok közé kerül a K4 és a K7 PP árama, míg a K7 PET árama önálló hulladékáramként jelenik meg). Ezeket a modellben arányosítással vettük figyelembe).

A modellben végül a következő hulladékfajták (túlnyomórészt haszonanyagok) kerülnek megkülönböztetésre:

K 0 - vegyes hulladék: minden, ami nem kerül szelektív elkülönítésre. A begyűjtésnél az ingatlantulajdonos által kiválogatott anyag nélküli mennyiséget jelenti, mely azonban a válogatás során tömegében növekedhet, hiszen az elkülönített frakciók szennyezett része is részben ide kerül át;

K 2 - papír (vegyes papír): újság, könyv stb. kivéve hullámpapír;

K 3 - hullámpapír (hullámkarton): általában csomagolásra használt, jó minőségű, hosszú cellulózrostokat tartalmazó, újrahasználatra kiválóan alkalmas papír;



K 22 - tetra (társított italoskarton): italoskarton csomagolás, mely nagyobb részben papírból, kisebb mennyiségben alumíniumból és polietilénből áll. Hasznosítása a papírgyárban szokásos;

K 7 - pet: polietilén-tereftalát, üdítőitalok, ásványvizek megszokott csomagolóanyaga. Általában víztiszta és halványkék színű, zöld, sárga, barna színekben is előfordul kisebb arányban. Kupakja és a kupakgallérja egyébként HDPE, címkéje PVC;

K 7 - pe: polietilén, flakonok (HDPE), fólia, zacskó (LDPE);

K 7, K 4 - egyéb_ma (egyéb műanyag): PP, PS;

K 10 - fe_fem: vasfémek, általában konzervdoboz;

K 10 - nemfe_fem: nem mágnesezhető fémek, általában alumínium italos doboz;

K 9 - uveg: öblösüveg, italos, konzerves üvegek;

K 1 - zold_hazi: konyhai eredetű biohulladék;

K 1b - zold_kerti: nem konyhai eredetű, kertekből, parkgondozásból származó növényi eredetű hulladék.

A modellben az elválasztások számításánál a különböző fajtájú műanyagok, illetve a fémek további felosztásra nem kerülnek, azonban a megfelelő adatok rendelkezésre állása esetén azok fogadására a kialakított rendszer képes.

Fenti hulladékok közül a következőknek az átadása a hasznosítónak bálázott formában történik:

- papírok
- italoskarton
- műanyagok
- nem vas-fémek

A vasfémek konténerben vagy ömlesztve kerülnek átadásra. A biológiailag lebomló frakciók általában a közszolgáltató vagy annak elvállalkozója által üzemeltetett komposztáló telepre kerülnek, így a hasznosítás saját feladatként írható le.

A háztartás által fizetendő közszolgáltatási díjat a modellben nem vettük figyelembe. (Jelenleg a hulladékdíjat csak a vegyes frakció mennyisége (volumene) alapján kell megfizetni, azonban érdekes kísérletet jelentene, ha a későbbiekben ennek különböző mértékét is modelleznénk.) Az egyes



megoldások költségéből kiderül, hogy a lakosság aktuális mértékű pénzügyi „hozzájárulása” elegendő-e a rövidtávú működés fenntartásához, illetve ha nem, akkor meghatározható a szükséges „pótbefizetés” mértéke. A növekvő szelektivitással értelemszerűen csökken a vegyesen átadott mennyiség, így a háztartásnak lehetősége nyílik kisebb edényméretre váltani. A szóba jöhető edényméretetek a 80 és 60 literes kukák. Ezek üritési díja egyes esetekben egyenesen arányos a 120 literesével, máshol teljesen más módszertan alapján lett kialakítva a díj. A fajlagos üritési díjakat stabilizálta a rezsicsökkentés is.

5.2 A begyűjtési és előkezelési technológiák rendszerezett áttekintése

5.2.1 Begyűjtési és szállítási lehetőségek

5.2.1.1 A hulladék ingatlan által történő átadása

A hulladékgazdálkodás első helyszíne a hulladéktermelést végző ingatlan. A magyarországi településeken működő rendszerek sokfélesége is azt mutatja, hogy jelentős számú variáció létezik. Bár az egyfrakciós vegyes gyűjtés napjainkra már jelentősen visszaszorult, kiinduló sémának mégis ezt vettük. Lényeges annak ismerete, hogy a modell különböző sémáinak gyűjtési és válogatási költsége hogyan alakul az alap verziót jelentő „csak vegyes gyűjtés” rendszeréhez képest.

Itt lényeges definiálnom a gyűjtés dolgozatban használt fogalmát. A hulladékgazdálkodási törvény idejében a jogszabály megkülönböztette a gyűjtés és a begyűjtés fogalmát. A gyűjtés azt a tevékenységet takarta, amikor a hulladéktermelő az ingatlanán valamilyen rendszerben összegyűjtötte a hulladékot, várva annak elszállítását. A hulladék elszállítása a szolgáltató által a begyűjtés során valósult meg. Jelenleg a begyűjtés fogalmát nem ismeri a jogrend, a szállítás váltotta fel azt. A fogalmi feszültséget részben az is okozza, hogy a hulladékkal való tevékenységek engedélyezésénél továbbra is elkülönül a gyűjtés (olyan elszállítás, gyakorlatilag begyűjtés, amikor a hulladék a szállító tulajdonába kerül, és már saját nevében kerül leadásra pl. a



kezelőtelepen) és a szállítás (a leadás a szállítás befejeztével az eredeti termelő nevéen történik, miközben a szállítónak ezt a tevékenységet nem is kell a környezetvédelmi bevallások rendszerében feltüntetni).

A továbbiakban tehát az ingatlannál történő összeszedést és tárolást gyűjtésnek nevezem, az onnan való elszállítást pedig szállításnak vagy begyűjtésnek hívom.

Egy másik, jogszabálytól való eltérés a modellben a következő: az OHKT a szelektív szigeten alkalmazható edényméretet 1,5 m³-nél nagyobb űrtartalomban határozza meg. A modellezés során ettől eltérően a jóval elterjedtebb 1,1 m³-es BOBR-tartályt alkalmazom. Ennek ürítése ugyanis megoldható a megszokott tömörítő gépjárművel, nem igényel speciális darus felépítményt. Üritési időszükséglete pedig jelentősen kisebb, mint a darus megoldásoké. Összefoglalva tehát olcsóbban és gyorsabban üríthető, hátránya viszont az ürítési frekvencia nagyobb értéke.

Ezt kiküszöbölendő építettem be a modellbe a MOLOK típusú gyűjtőrendszert, amely a föld alatti elhelyezkedésével jóval nagyobb mennyiségeket képes magába gyűjteni, ürítése pedig a darus felépítménnyel lehetséges. A magyar előírás egyébként mindenhol (eltérés csak szűk keretek közt lehetséges) a házhoz menő gyűjtés megszervezését írja elő.¹⁵ A gyűjtőpontos gyűjtés kedvezőbb költségei miatt a modellben azonban ezt a fajta gyűjtési módot is elemzem.

Modellemben végül három fő csoportba soroltam a gyűjtési sémákat:

- gyűjtőszigetes jellegű szelektív gyűjtés;
- házhoz menő elkülönített gyűjtés egy szelektív edénnyel,
- házhoz menő elkülönített gyűjtés két szelektív edénnyel,

A 30. táblázat a főbb gyűjtési sémacsoportokat ismerteti.

Minden kommunális hulladékgyűjtés kiindulópontja a háztartás vagy egyéb ingatlan, ahol az adott mennyiségű és összetételű hulladék képződik. Ez a helyszín jelenik meg kiindulási változás elemként a modell működésében is. A kiinduló változás az a pillanat, amikor a háztartás különféle szelekcióval (vagy

¹⁵ A német körkörös gazdaság törvény is előírja ezt, azonban hozzáteszi, hogy csak ott és oly módon, ahol technikailag lehetséges és gazdaságilag racionális (Trenyik, 2015).



szelekció nélkül) kihelyezi a hulladékot közterületre, ezzel átadva azt a közszolgáltatónak (a haszonanyag tulajdonosa a kihelyezés pillanatában az NHKV Zrt., de ez a modell működését nem befolyásolja, hiszen a begyűjtést és az előkezelést továbbra is a közszolgáltató végzi). A haszonanyag értékesítéséből származó árbevétel piaci árakon számoljuk, területi elvet alkalmazva.

30. táblázat – A modellben vizsgált gyűjtési sémák csoportjai

Csoport első séma	Utolsó séma	Leírás
S 101	S 105	csak vegyes hulladék gyűjtés, nincs elkülönített gyűjtés, nincs komposztálás
S 106	S 110	alapvetően vegyes hulladék gyűjtés, üveggyűjtés szelektív szigeten
S 111	S 115	alapvetően vegyes hulladék gyűjtés, üveggyűjtés 5 m ³ -es konténerben
S 116	S 120	csak vegyes hulladék gyűjtés, nincs elkülönített gyűjtés, van azonban házi komposztálás
S 121	S 125	alapvetően vegyes hulladék gyűjtés, üveggyűjtés szelektív szigeten, házi komposztálás
S 126	S 130	alapvetően vegyes hulladék gyűjtés, üveggyűjtés szelektív szigeten, házi komposztálás, zöldhulladék gyűjtés
S 131	S 142	vegyes hulladék gyűjtés, gyűjtőszigetes jellegű elkülönített gyűjtés papír-, műanyag- és üvefracciókra
S 142	S 154	vegyes hulladék gyűjtés, gyűjtőszigetes jellegű elkülönített gyűjtés papír-, műanyag- és üvefracciókra, házi komposztálás
S 155	S 166	vegyes hulladék gyűjtés, gyűjtőszigetes jellegű elkülönített gyűjtés papír-, műanyag- és üvefracciókra, zöldhulladék-gyűjtés
S 201	S 204	kétédényes gyűjtés (száraz-nedves séma), nincs komposztálás, nincs üveggyűjtés
S 205	S 208	kétédényes gyűjtés (száraz-nedves séma), házi komposztálás, üveggyűjtés szelektív szigeten
S 209	S 212	kétédényes gyűjtés (száraz-nedves séma), nincs komposztálás, üveggyűjtés szelektív szigeten
S 213	S 216	kétédényes gyűjtés (száraz-nedves séma), zöldhulladék gyűjtés, üveggyűjtés szelektív szigeten
S 217	S 220	kétédényes gyűjtés (száraz-nedves séma), biohulladék-gyűjtés, üveggyűjtés szelektív szigeten
S 301	S 304	háromedényes gyűjtés (vegyes + papír + műanyag), nincs komposztálás, nincs üveggyűjtés
S 305	S 308	háromedényes gyűjtés (vegyes + papír + műanyag), házi komposztálás, üveggyűjtés szelektív szigeten
S 309	S 312	háromedényes gyűjtés (vegyes + papír + műanyag), nincs komposztálás, üveggyűjtés szelektív szigeten



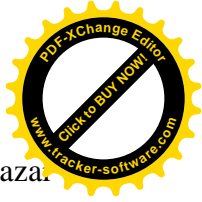
S 313	S 316	háromedényes gyűjtés (vegyes + papír + műanyag), zöldhulladék gyűjtés, üveggyűjtés szelektív szigeten
S 317	S 320	háromedényes gyűjtés (vegyes + papír + műanyag), biohulladék gyűjtés, üveggyűjtés szelektív szigeten

Az elterjedten alkalmazott átadási lehetőségek a következők:

Vegyes hulladék esetében a kisméretű hulladékgyűjtő edény (kuka) jellemző, mérete 60-1100 liter között változhat. Családi házas övezetekben a 60-80-120 liter méretű a leggyakoribb, kiegészülve a 240 literes edénymérettel. Az 1100 literes méret a nagyobb méretű, létszámú létesítmények, üzemek és a lakótelepek jellemző edénye. A 60-1100 literes edények azért szerepelhetnek ugyanabban az állapottelemben, mert ürítésük jellemzően tömörítő hulladékgyűjtő gépjárművekkel történik.

Vegyes hulladéknál a jelenlegi jogszabályi rendelkezések csak a házhoz menő rendszert engedélyezik. A teljes áttekintés érdekében azonban a modellt beépítettük a vegyes hulladék gyűjtőponton történő átadásának lehetőségét is. Bizonyos szempontból az 1100 literes edény használata is gyűjtőpontnak minősülhet. Az 5 m³-es, 30 m³-es konténerek és az 5 m³-es MOLOK tartályok vidéki településeken történő használatának modellezésével alaposabb képet kapunk a lehetőségekről. A bomló összetevőt tartalmazó vegyes hulladék begyűjtési gyakoriságánál természetesen tekintetbe kell venni az érvényben lévő közegészségügyi előírásokat. E tekintetben jelentős hatást gyakorol az ez év augusztusától hatályos EMMI rendelet, mely lehetővé teszi az eltérő téli-nyári begyűjtési gyakoriságokat. Ez még indokoltabbá teszi a gyűjtési módok optimális kidolgozását, melyre a jelen dolgozat által bemutatott módszer igen jól alkalmazható. A vegyes hulladék természetesen a különböző szelektív rendszereknél más-más anyagféléseket tartalmaz, attól függően, hogy a településen üzemeltetett hulladékgyűjtési rendszer mely anyagok elkülönített gyűjtésére ad lehetőséget.

Az elkülönítetten gyűjtött hulladék ingatlan utáni állapotú gyűjtésére már jóval több, jelenleg is engedélyezett lehetőség adódik. Alapvető eszközrendszer (és jelenleg jogszabály által is preferált) a kisméretű edények alkalmazása házhoz menő gyűjtés keretében (60-1100 literes szelektív edények). Az elterjedt edényméret a 120 és 240 literes. 1100 literes gyűjtőedények pl. lakótelepi



gyűjtésben vagy nagyobb létesítményeknél fordulnak elő. A hazai gyakorlatban továbbra is jelen vannak a gyűjtőszigetek, melyek évtizedekig jelentették a szelektív gyűjtés gerincét hazánkban. A jogszabályi keret jelenleg csak speciális esetekben engedélyezi ezek használatát. Ettől függetlenül több közszolgáltató (pl. Győr) elterjedten használja őket továbbra is, jó eredményeket érve el velük.

Az elkülönített gyűjtésben a lehetőségek téra szélesebb, mint a vegyes hulladék gyűjtésénél. Az egyik elterjedt módszer a száraz frakciók (jellemzően papír, műanyag, italos karton és fém) egy edényben történő átadása. Ez a begyűjtés szempontjából jelentős előnyökkel jár: a nagyon könnyű és közép-könnyű frakciók együttes gyűjtésével a gyűjtőjármű tömegkapacitása jobban kihasználható (bár meg sem közelíti annak teljes kapacitását) és az ingatlannál egy alkalommal történő megjelenéssel begyűjthető a szelektív anyag. Hátránya, hogy a válogatás során egy jóval összetettebb, kevert anyagáramot kell szétválogatni, mely vagy a válogatás költségeit növeli meg, vagy a válogatás hatékonyságát rontja le.

Ezt a módszert választotta a Kaposmenti Hulladékgazdálkodási Program: 120 literes kék színű edények kerültek kiosztásra az ingatlantulajdonosoknak, melynek ürítése Kaposváron hetente, a régió többi településén kétheti gyakorisággal történik. A Balaton déli partján tevékenykedő Pelso-Kom Kft. szolgáltatási területének parttól távolabbi településein 240 literes sárga edényekből havi gyakorisággal történik a szelektív anyag begyűjtése. A Mecsek-Dráva Hulladékgazdálkodási Rendszer települései közül a nagyobb lélekszámúak kaptak házhoz menő gyűjtést szolgáló eszközöket (240 literes edények), míg a kisebb településeken továbbra is gyűjtőszigetes megoldás működik.

Egy másik módszer (pl. Budapesten) a két szelektív edényes megoldás: egy edénybe gyűjtik a papírt, a másikba a műanyagot. Ez a válogatás szempontjából előnyös megoldás, nem beszélve arról, hogy a hulladék szétválogatását az ingatlantulajdonos ingyen végzi el. A logisztika szempontjából viszont a két különböző gyűjtőjárat megszervezése jelentős többletfeladat.



Érdekes kérdés, hogy milyen paraméterek döntik el, hogy egy adott településen melyik módszer alkalmazása előnyösebb. A legfontosabb ezek közül a begyűjtés és a kezelés költségének egymáshoz képesti aránya. Ezt jelentős módon befolyásolja a kezelés helyének a begyűjtendő hulladéktól való távolsága. Korábbi kutatásaimban megállapítottam, hogy a vidéki gyűjtésnél jelentkező többletköltséget az okozza, hogy bár a lakosság minél magasabb arányú és minél több frakcióra történő szétválogatásával csökkenhetnek a kezelési költségek, azonban a logisztika költségei a kezelőközpont és a hulladék termelési helyének távolságának növekedésével jelentősen nőnek, hiszen az anyagi minőség szerinti szétválogatás jellemzően sűrűség szerinti elkülönítést is jelent. Amíg egy nem kiválogatott HAK 20 03 01 kódú vegyes hulladék egy háromtengelyes hulladékgyűjtő járművet mind teherbírásában, mind térfogat-kapacitásában meg tud tölteni, addig a könnyű fajsúlyú (jellemzően) csomagolóanyagok a térfogatot kitöltve a hasznos teherbírásnak akár csak 10 %-át használják fel. A nagyobb sűrűségű frakcióknál pedig a térfogat egy részének kihasználatlansága jelentkezik akkor, amikor a jármű már elérte az engedélyezett össztömegét (Trenyik, 2015 b).

Miközben egy ezer ingatlanos település viszonylatában a vegyes hulladék egy gyűjtőjáratban (nagyjából 10 tonna mennyiségben) elszállítható, addig ugyanazt az úthosszt bejárva a kevert szelektív anyag mennyisége a 31. táblázatban bemutatottak szerint alakul:

31. táblázat – Kevert szelektív anyag és vegyes hulladék begyűjtésére fordított távolság egy magyar példában

Átlagos begyűjtött mennyiség (kevert szelektív anyag)	3 072 kg
Átlagos begyűjtött mennyiség (vegyes hulladék)	10 000 kg
A településen megtett gyűjtési kilométerérték	23,07 km
Egy tonna szelektív anyag begyűjtésére fordított távolság	7,5 km/tonna
Egy tonna vegyes hulladék begyűjtésére fordított távolság	2,3 km/tonna

Forrás: KHG Nonprofit Kft. alapján saját összeállítás

A vegyes gyűjtés, illetve a szelektív gyűjtés (kétedényes és háromedényes rendszer) költségeit vizsgálva azt is kimutattam (Trenyik, 2015 b), hogy a begyűjtés költségeit tekintve a háromedényes rendszer a vizsgált körülmények között drágább, mint a tisztán vegyes gyűjtés, míg a kétedényes rendszer



magas elkülönítési aránnyal és házi komposztálással kedvezőbb költség szintet is biztosíthat¹⁶.

A kezelőközpontoz (ez jelenthet egy regionális méretű válogatóművet, de gondolhatunk akár egy helyi kisméretű válogató helyszínre is) közel eső területeken valóban racionálisan elképzelhető egy olyan gyűjtési rendszer, amelynél a papírt és a műanyagot külön-külön kis edényekbe (60-240 liter) gyűjtik.

Egy újabb lehetőség a szelektív anyag begyűjtésére a gyűjtőpontos jellegű megoldás. Itt a klasszikus megoldás a gyűjtőszigetek alkalmazása, melynél az edények mérete az 1100 literes BOBR-tartálytól a 2,5 m³-es alulűrítős edényig terjedhet. A gyűjtött anyagfélések jellemzően papír, műanyag és üveg, külön-külön edényekbe. A fém elhelyezése általában a műanyag gyűjtőbe történik. Az italos karton anyaga alapján a papíros edénybe kerülhetne, azonban a könnyebb kiválogatás miatt van példa a műanyag közé helyezésre is.

A gyűjtőpontos megoldás egyértelműen kedvezőbb a begyűjtés költségeit tekintve, hiszen nincs szükség egy adott település több tíz kilométeres belső úthálózatát 3-6 kilométer/órás gyűjtősebességgel végigjárni, majd kis adagokban a hulladékot a rakodótérbe üríteni, miközben a tömörítési üzemmód szinte végig emelt fordulató működést követel meg a motortól és dolgoztatja a felépítményt. Ha ehelyett a település néhány pontját célzottan látogatja meg a jármű, akkor két rakodó helyett egy fő, vagy akár maga a gépkocsivezető egyedül is képes az ürítést elvégezni. További előny, hogy mivel a gyűjtőpontokon nem gyűjtenek (illetve nem jellemző, hogy gyűjtenek) kevert szelektív hulladékot, a válogatás jóval hatékonyabban mehet végbe. Mivel a már szétválogatott hulladékot újra összekeverni törvényileg tilos, így a valóban hatékony begyűjtés a logisztika megoldandó feladata: lehetőség van ugyanis osztott tartályos vagy többkonténeres járművek bevetésére, melyek a legtávolabbi települések esetében jelentősen csökkenthetik a begyűjtés költségét azzal, hogy a település minden frakciója egy járáttal kerül begyűjtésre.

¹⁶ A vizsgálat egy kezelőközponttól 25 kilométerre eső települést elemzett.



A logisztikai költségek további csökkentése a gyűjtőtartályok méretének növelésével lehetséges. A MOLOK-rendszer, melynek telepített példányai Magyarországon is megtalálhatóak, elérhetővé teszi az 5 m³-es edényenkénti méretet is. Ezek a földbe süllyesztett tartályok a lakosság számára hasonló kényelemmel vehetők használatba, mint a megszokott szelektív szigetek. Hátrányuk, hogy lehelyezésükkor jelentős földmunkát kell elvégezni, mely a beruházási költséget növeli, továbbá csak darus felépítménnyel lehet az ürtést elvégezni.

Mind a szelektív szigeteknél, mind a MOLOK-tartályoknál legalább két frakciós gyűjtéssel számoltam (papír és műanyag). Az üveggyűjtés természetesen külön edényekben történik.

A zöldhulladék esetében lehetővé tettem a gyűjtőpontos megoldást, azonban az ingatlantól való elszállítást annak használója számára nem engedélyeztem. A háznál történő begyűjtés feladatát a közszolgáltató vagy annak alvállalkozója számára tartottuk fenn. A kerti hulladék számára a házi komposztálás lehetősége is rendelkezésre áll.

Bizonyos hulladékfajták elszállítása zsákban (vegyes, egyes szelektív frakciók), valamint kötegelve (kerti zöldhulladék) is elvégezhető.

5.2.1.2 A szelektálás mértéke

A hulladékanalízis szerinti arányok szerinti elkülönített gyűjtés tökéletesen nem lehetséges. A (pl. ételmaradékkal) szennyezett összetevők elvileg nem kerülhetnek a szelektív frakcióba, teljes tisztításuk viszont nem várható el a lakosság egészétől.

A gyakorlati példák is azt bizonyítják, hogy a rendszerek tervezésekor és jelen modell továbbfejlesztésénél is szükséges biztosítani a szennyeződésekkel módosított valós, nem teljes szelektivitás hatásának vizsgálatát. Az egyes hulladékfrakciók mennyisége és elválasztási tisztasága eltérő lehet. A PET frakció keletkezési mennyisége jelentősen évszakhoz kötődik, azonban a külön gyűjtés aránya is eltérő lehet. A papír a vidéki térségekben télen jelentősen kisebb mennyiségben kerül begyűjtésre, bár a keletkező mennyiség az év során viszonylag kiegyensúlyozott. A "szelektálási lelkesedés" az egyes településtípusok között, sőt az azonos adottságokkal rendelkező települések



között is jelentősen eltérhet. A modellben ez hatásfokok segítségével vehető figyelembe, melyek a haszonanyag összes mennyiségének százalékában fejezik ki a ténylegesen begyűjthető mennyiségeket. A gyűjtési és kezelési költségek számításánál is ezeket a korrigált mennyiségeket kell figyelembe venni. Átmenetileg azzal az egyszerűsítéssel élhetünk, hogy minden szelektív anyagfajta egyféle jellemző szelektálási hatásfokkal rendelkezik.

A begyűjtött haszonanyag nem csupán értékes, kiválogatásra érdemes és hasznos összetevőket tartalmaz. Részben a hibás szelektálási gyakorlat, részben a véletlen hibák következtében a csekély mennyiségtől akár a 30-40 %-os szennyezettségi mértékig lehet jelen az elkülönítetten begyűjtött mennyiségben olyan anyag, amelyet válogatási maradéknak hívunk és amely anyagában hasznosításra alkalmatlan. E tényező állandó előfordulása miatt nem zárható ki a modellezésből, ezért ezt tisztasági hatásfokokkal kell figyelembe venni a modell továbbfejlesztése során.

A vizsgálatok értékelésénél az EU-s előírt elkülönítési arányokat kell alapul venni a 33. táblázat szerint. Mivel modellünkben az összes hulladék 70,75% hasznosítható összetevőt tartalmaz, így ezt a mennyiséget a válogatás 100%-os bázisának tekintve a 32. táblázatban látható korrigált elkülönítési arányok a mérvadóak.

32. táblázat – Az EU által előírt elkülönítési arányok az összhulladék arányában kifejezve és az abszolút szelektivitási arányok

	Szelektivitási százalékok az összes hulladék tömegszázalékában kifejezve	Szelektivitási százalékok a 70,75%-nyi szelektív frakció arányában kifejezve
Jelenlegi arány	~10%	14%
HKI előírása	~25%	35%
Körkörös gazd. előírása 2025-re	55%	77%
Körkörös gazd. előírása 2035-re	65%	91%

5.2.1.3 Gyűjtési gyakoriság

Az elsődleges begyűjtésnél (jogszabály, helyi rendelet vagy közszolgáltatási szerződés által szabályozva) a 33. táblázatban látható begyűjtési gyakoriságokat alkalmaztuk.

33. táblázat – Az egyes hulladékaromok modellben alkalmazott begyűjtési gyakoriságai

vegyes hulladék	heti
biohulladék 1 (konyhai hulladék)	heti
biohulladék 2 (konyhai + kerti)	heti
zöldhulladék (kerti hulladék)	kétheti
egyéb szelektív hulladék	kétheti

A másodlagos helyszínekről (gyűjtőpontok, előkezelési helyszínek) a hulladék elszállítása a hulladék mennyiségének és a tárolóedények kapacitásának függvényében történik meg. Mivel ezek a közegészségügyi problémát nem jelentő szelektív anyagok, így a tárolásuk hosszabb időn keresztül is lehetséges. A cél a szállítóeszköz teljes kihasználása a költségek csökkentése érdekében. Ezért ezeknél egy mennyiségi alsó korlát meghatározása is szükséges, ami azt a töltöttségi szintet jelenti, ami felett a szállítás megtörténik, alatta azonban nem. A modellben az alsó korlátot egységesen a tároló- illetve szállítóeszköz kapacitásánál egy pontosan definiált mennyiséggel (jelenleg 1 kg-al) kisebb értékben állapítottam meg. Ez azt jelenti, hogy a nem teljesen tele konténerért stb. nem fog elmenni vagy visszamenni a szállítójármű. Eközben azt is feltételezem, hogy a lokális gyűjtő- és válogató helyszíneken nem fordul elő tárolókapacitás- vagy helyhiány miatt probléma.

5.2.1.4 A modell mintaterületének távolsága a kezelőközponttól

Feltételezésem szerint a kezelőközponttól való távolság jelentősen hat az adott scenáriókban költség szempontjából hatékonyabb gyűjtési módszerek kiválasztására. Ez többféle távolságértékkel végzett szimulációt igényel. Az első közelítésben rögzített értékek a következők lehetnek:

- 10 km: alapja az, hogy a komplex kezelők általában egy nagyváros közelében épültek fel, így képet kaptam az ily módon speciális helyzetben lévő települések optimálisnak látszó rendszerelemeiről;
- 30 km: szakmai közhely volt, hogy 30 km-en túlról már nem gazdaságos a hulladék (vegyes hulladék) begyűjtése;
- 50 km: az OHKT az 50 km-es maximális távolságú begyűjtési körzeteket tartja az együtemű gyűjtés felső korlátjának;



- 120 km: kétütemű szállítás esetén (átrakóállomás beiktatásával) az OHKT a 120 kilométeres maximális távolságot tartja elfogadhatónak. A modellben nem számolok ilyen átrakóállomás használatával.

5.2.1.5 A gyűjtési úthossz meghatározása házhoz menő gyűjtésnél

A közszolgáltató flottakövetési rendszeréből és a menetlevelekből elég nagy pontossággal meg tudja határozni az egyes településeken futott kilométereket. Ez azonban jelentősen függ az adott közszolgáltató járatszervezésétől. A modellben így mi a következő elveket követtem a gyűjtési úthossz meghatározására:

1. A KSH 2012. évi hulladékgazdálkodási adatsorában szerepel utoljára a rendszeres hulladékgyűjtésbe bevont lakások száma. Ez például Kaposvár esetében 27 911 db ingatlan. A nagyobb településeken, ahol többlakásos társasházak vannak és a lakótelepi városrész is jelentős, ez a szám nem ad pontos információt a hulladékgyűjtő járatok szervezéséhez. Esetünkben például a társasházi ingatlanok számáról sem rendelkezünk pontos információval, hiszen a hulladék kihelyezése közös edényben történik, a szerződést jellemzően a társasházkezelő vagy közös képviselő köti. Ezért a nagyobb településeken a fenti torzítás miatt a statisztikában megjelenő ingatlanszám nem használható. Az ilyen városok kertvárosi részeinek struktúrája azonban jelentősen közelít a vidéki települések ingatlansűrűségéhez, így az ott meghatározott ingatlanszám felhasználható a városi gyűjtésben is.

A Kaposvár és Siófok nélküli adatbázis 2012-ben Somogy megyében 90 797 ingatlant mutat. Ehhez adhatjuk még hozzá a 25 149 darab, rendszeres hulladékszállításba bevont üdülőingatlant.

2. A vonatkozó statisztika 2014-es adatbázisa már nem tartalmazza a rendszeres hulladékszállításba bevont ingatlanok számát, de feltételezhetjük, hogy a két évvel korábbi szám nem változott jelentős mértékben. A 2014. évi adatok között megtalálható viszont
 - az önkormányzati kiépített utak hossza (1 747,9 km) és
 - az állami közutak hossza (526 km).



Lakott (ezért a közszolgáltatásba bevont) ingatlanok előfordulnak persze kiépítetlen utak mellett is, azonban ezek hosszát (7 382,9 km) nem vettem számításba, hiszen ezek zömmel azokat a külterületeken futó utakat jelentik, ahol a közszolgáltató megjelenése egyáltalán nem általános.

3. A kialakult gyakorlat szerint a gyűjtőjáratok a kisebb forgalmú, keskenyebb utcák mindkét oldalán kihelyezett kukaedényeket egy menetben ürítik le. A nagyobb forgalmú, sávválasztóval ellátott utakon a gyűjtés egy oldalon történik a balesetek elkerülése érdekében. Ennek alapján a modellben a gyűjtési úthossz meghatározása a következő elven történt: az önkormányzati utak 80%-a és az állami utak 20%-a kétoldali ürítéssel kerül begyűjtésre, míg az önkormányzati fenntartásban lévők 20 %-a és az állami kezelésben lévők 80%-a egyoldalas ürítéssel.
4. Az így kiszámolt „korrigált úthossz” 15%-kal került növelésre, mivel az egymást követő gyűjtési szektorokba történő (településen belüli) beállítások során többszörösen lejárt útszakaszok jelennek meg.

A gyűjtési úthossz így a következőképpen került meghatározásra (34. táblázat):

34. táblázat – A gyűjtési úthossz kiszámításának a modellben alkalmazott korrigált „alapadatai”

Korrigált kilométer (Somogy megye <Kaposvár és Siófok kivételével>):	3 500,9 km
Ingatlanszám (Somogy megye <Kaposvár és Siófok kivételével>):	115 946 db

Az ebből számított érték: 33,1 ingatlan/km. Ezt az értéket alapul véve, egy 10 000 ingatlanos mintaterület begyűjtéséhez szükséges úthossz: 302 kilométer. Felhívom a figyelmet, hogy ez az átlagérték a vidéki térségek családi házas övezeteinek gyűjtési úthosszát írja le. Egy konkrét terület modellezése során a tényadatok a helyi szolgáltatónál rendelkezésre állnak és a modellbe illeszthetők.



5.2.1.6 A gyűjtési idő meghatározása házhoz menő gyűjtésnél

A házhoz menő hulladékgyűjtés során a járművek átlagsebessége 5 km/óra körül alakul. A modellben ezzel az értékkel számolok. A mintaterületre fordítandó idő így 6,04 óra.

A „korrigált úthossz” (15%-kal növelt) logisztikai jellegű többletútjain a haladási sebesség ötszöröse a gyűjtési sebességnek, így a 15%-os többletút időszükséglete +3%. Ezt tartalmazza a fenti 5 km/órás érték.

5.2.1.7 A gyűjtési idő és út meghatározása gyűjtőpontos jellegű begyűjtésnél

A településen található gyűjtőpontok eléréséhez a települési korrigált úthossz 20%-át vettük számításba. Ez még abban az extrém esetben is elegendő, ha pl. 5 m³-es konténerben kívánjuk begyűjteni a településen keletkezett műanyagfrakció teljes mennyiségét. Egy 10 000 ingatlanos mintaterületen futott úthossz így 60,4 km. Ez persze jelentős egyszerűsítés, mely minden anyagáramnál ugyanazon értékkel számol. Egy konkrét terület adatainak részletes elemzésénél ezt az értéket jóval pontosabban lehet (és kell) kidolgozni.

Jóval bonyolultabb az egyes sémákban az előzőek szerint begyűjtésre kerülő hulladék gépjárműbe ürítésének meghatározása (amikor az ürítés időszükséglete alapján számoljuk a költséget). Az adott gyűjtési alkalommal a területen összegyűjtött hulladékfajták különböző sűrűséggel rendelkeznek, így az egyes hulladékok mennyiségét, az alkalmazott gyűjtőedény paramétereit és a hulladék sűrűségét is figyelembe kell venni. Így adható meg az egy alkalommal ürítendő edények száma, melyet a standard ürítéshez szükséges idővel megszorozva számítható a költség.

5.2.1.8 A hulladék szállításának módjai

A hulladék háztól való begyűjtésére az első lehetőség a klasszikus tömörítőgépes elszállítás módszere. Ezzel a legtöbb hulladékfajta begyűjthető, a vizsgált alternatíváknál ez a járműtípus 47 különféle hulladék-edény-kezelés kombinációnál jelenik meg:

- vegyes hulladék kukában,



vegyes hulladék zsákban,

- vegyes hulladék 5 m³-es konténerben (ez speciális felszereltséget igényel, de elterjedt megoldás),
- elkülönítetten gyűjtött hulladék (kevert verziókban és anyag fajtánként elkülönítve) kukában,
- elkülönítetten gyűjtött hulladék (anyag fajtánként elkülönítve) 5 m³-es konténerben,
- elkülönítetten gyűjtött hulladék (anyagfajtánként elkülönítve) szelektív szigetről (az 1100 literes BOBR-tartály nem igényel külön felszerelést, az alulürítős edényekhez daru szükséges).

A hulladékok jelentős részét 5 m³-es konténerben is lehetséges begyűjteni. Ennek elszállítása a fentiekben részletezett esetekben megoldható tömörítő autóval, azonban ezeket a konténereket klasszikusan a láncos konténeres járművek mozgatják. Egy jármű egy konténer elszállítására képes (a modellben csak 5 m³-es konténerekkel számolok, nem veszem figyelembe a 7-10 m³-es lehetőségeket). A konténerek ebben az esetben gyűjtőpontnak számítanak. Ha pótkocsit is alkalmaznak, akkor az egy fuvarban mozgatható konténerek száma három. Lényeges kérdés, hogy az odaúton cserekonténereket is szállít-e a jármű. Nagyobb szállítási távolságnál ez mindenképpen javasolható. A rakodás ebben az esetben hosszabb lesz, mivel a cserekonténert is mozgatni szükséges, ám a futásszükséglet jelentősen csökkenthető. A szóba jöhető hulladékfajták:

- vegyes hulladék
- elkülönítetten gyűjtött hulladék különböző anyagáramai

A láncos konténeres jármű mellett a horgos konténeremelővel felszerelt háromtengelyes járművek (multiliftes járművek) is használhatók a fenti hulladékok elszállítására. Az itt alkalmazott konténerek mérete 20-36 m³-ig terjed (multiliftes vagy görgős konténer). A konténerek alapterülete adott, mivel annak az autó alvázméretéhez kell igazodnia, az úrtartalmi különbségek így a konténer magasságának különbségéből adódnak. A szállítás összköltsége nagyjából független a konténer méretétől, így a fajlagos költségeket a szállított mennyiség jelentősen befolyásolhatja. A modell elsődleges begyűjtési



részében a multiliftes jármű mindössze egy változatnál fordul elő, amikor a háztartási vegyes hulladék egy 30 m³-es görgős konténerbe kerül összegyűjtésre. Gyakoribb alkalmazása az előkezelés utáni szállításokban mutatkozik.

Darus jármű a MOLOK-tartályok ürítésére alkalmazható. Daruval fel lehet szerelni a multiliftes gépjárművet, de léteznek görgős konténerrel egybeépített daruk is. Jóval ritkább a tömörítőlapos gépkocsik felszerelése daruval. Mindkét megoldás alkalmas az ilyen típusú edények begyűjtésére, de itt csak a multiliftes megoldással kalkulálok. Ez a módszer a vegyes hulladék 5 m³ térfogatú edényénél és az elkülönítetten gyűjtött 5 m³-es MOLOK-tartályoknál került be a modellbe (műanyag és papír elkülönített frakciók). Fentiekén kívül ez az eszköz képes még üríteni a szelektív szigetek alulürítős edényeit (papír és műanyag esetében). A tömörítő darus járművön kívül az ilyen kivitelű gyűjtőjármű ürítheti az alulürítős üveggyűjtőket is.

5.2.1.9 A kétfázisú begyűjtés lehetősége

A vegyes hulladék begyűjtését kétfázisú szállítási rendszerben is kidolgoztuk. Ez nem azonos a viszonylag elterjedt átrakó állomásos módszerrel. Modellünkben az első fázisban a helyi erőforrások felhasználásával a zsákban kihelyezett vegyes hulladékot házhoz menő gyűjtéssel begyűjtve egy gyűjtőpontra szállítják el. A modellben az ily módon összegyűjtött hulladékot később egy tömörítő jármű szállítja el. Egyéb megoldásként lehetséges lenne egy görgős konténerbe helyezni a hulladékot, amit egy multiliftes szerelvény tud elszállítani a kezelés helyére.

Jóval nagyobb lehetőséget tartogat a kétfázisú begyűjtés terén a helyi erőforrások alkalmazása az elkülönítetten gyűjtött hulladékok begyűjtésénél. Helyi erőforráson a vidéki településeken megtalálható kisteherautókat, pótkocsikat, sőt lovaskocsikat értem. Az elmúlt években jelentős eszközbeszerzések történtek az önkormányzatok részéről is. Ezek sok esetben kapcsolódnak a közmunka programhoz. A rendelkezésre álló szállítóeszközök az idő jó részében kihasználatlanul állnak, így azok felhasználhatóak a szelektív anyagok helyben történő begyűjtésére. Az egy menetben általuk begyűjtött mennyiség természetesen jóval kevesebb, mint a professzionális



hulladékgyűjtő járműveké, azonban beruházási költségük is jóval kisebb, és azon több más tevékenység is osztozik. Méretükből és egyszerűségükből adódóan üzemeltetési költségük is jóval kedvezőbb. Alkalmazásukat az egyes vidéki kistélepüléseken az egy alkalommal begyűjtendő mennyiségek csekély volumene teszi racionálissá.

A kétfázisú szállítás lényege az, hogy a drágán üzemelő gyűjtőjárművek a távoli településeken nem végeznek házhoz menő gyűjtést (az aktuális adatokat felhasználva a modellezés során derül ki, hogy mekkora távolságra eső települések számítanak már távolinak). Ennél a megoldásnál a helyi, kis költséggel működtethető járművekkel, helyi munkaerő alkalmazásával végzik el az első gyűjtési fázist, egy lokálisan központi gyűjtőhelyre szállítva az anyagokat. Így a tömörítős és egyéb gépkocsiknak csak rakodási és fuvarozási feladatot kell végezniük a lassú és a kis kihelyezett mennyiség miatt kevésbé hatékony háztól-házig történő gyűjtés helyett.

Modellünkben a kisteherjármű név a platós, utánfutós stb. megoldásokat jelzi. Létezik egy további eszközfajta, melyre a nemzetközi gyakorlatban fejlett országokban is van példa, Magyarországon pedig több térségben próbaprojekteket végeztek a megvalósítás lehetőségeit illetően. Ez az elkülönített hulladékok lovaskocsival történő begyűjtése. A kutatásom nem terjedt ki a vidéki térségek lovaskocsi ellátottságára, de valószínűnek tartom, hogy az egyes településeken inkább elérhető egy platós jármű, mint egy lovaskocsi. Azonban, mint az egyik fent említett pilot projektnek helyet adó közszolgáltató egykori vezetője, meggyőződhettem arról, hogy a módszer működőképes. Az irodalomban hivatkozott előadások és szakanyagok pedig meggyőző táblázatokat tartalmaznak a módszer verhetetlen költséghatékonyaságára vonatkozóan. A begyűjtés sebessége persze lassabb, mint a megszokott járművekkel, de mivel ezekkel is ~4-6 km/órás átlagsebesség érhető el, így a lovaskocsi sebessége nem jelent számottevő veszteséget. Ez a fajta szállítás egyértelműen hátrányos a begyűjtött mennyiség gyűjtőpontra / átvételi helyreállításánál és a munkaterületre való beállításnál. A kisteher- és alternatív szállítóeszközök házhoz menő gyűjtéssel tudják begyűjteni a szelektív gyűjtőedényeket, melyek mérete ez esetben 60-240 literig terjedhet. A városokban előforduló 1100 literes BOBR-tartályokat



hidraulikus emelőszerkezet hiányában nem tudják üríteni, ám ezek az edények a kisebb vidéki településeken amúgy sem jellemzőek. Amennyiben egy-egy ingatlan (pl. iskola, óvoda, ahol a megfelelő komolyságú szelektív gyűjtés működtetése kifejezetten elvárható lenne) nagyobb mennyiségű elkülönített hulladékot termel, két eset lehetséges: vagy a szükséges számú 240 literes edényben oldják meg a gyűjtést, vagy nagyobb méretű edények kihelyezésével gyűjtőpontot hoznak létre, amit a kisebb kapacitású eszközök nem vesznek bele a járatukba, azokat a közszolgáltató átmenő járatban eltérő rendszerességgel üríti (vagy akkor, amikor a második szállítási fázisban begyűjti az első fázisban összegyűjtött anyagokat).

Amennyiben a helyi erőforrások mennyisége megfelelő, és az üzemeltetésük elfogadhatóan alacsony költségű, elképzelhetővé válik az, hogy az ingatlanok nem kevert szelektív anyagot helyeznek ki, hanem anyagféleségenként (pl. külön papír és műanyag gyűjtőedények) válogatják és adják át a begyűjtőnek. Minden további szétválasztás, amit a lakosság végez, megkönnyíti a központi válogatási műveleteket. Azonban azt is tudjuk, hogy az alaposabb szétválogatás hatékonysági problémákat okozhat a szállítás során, hiszen a különböző anyagok (eltérő sűrűségük miatt) a szállító jármű teljes térfogatát kihasználva sem érik el súlyban annak hasznos terhelhetőségét. A válogatást, előkezelést érintő kérdésekről bővebben a vonatkozó fejezetben foglalkozom. A kisteher és alternatív eszközök alkalmazása remek lehetőséget jelent a zöld- és biohulladék begyűjtésénél. A befogadó létesítmény elhelyezkedésétől függően ez egy- vagy kétfázisú szállításként is elképzelhető. A zöldhulladék (mely elsősorban a kertekben, parkokban keletkező hulladékot jelenti) begyűjtése annak formájától függően kétféleképpen történhet: az apróbb, szóródó anyag (levél, kerti virág stb.) zsákban kerül átadásra, míg a nagyobb méretű, stabilabb anyagok (fa, nyesedék stb.) kötegelve. A modellben szereplő „kerti hulladék” fogalom alatt a fenti zöldhulladék definíción túl a háztartásban keletkező növényi eredetű hulladékot is értjük. Keletkezési helyétől (konyha vagy kert) függetlenül a növényi szerves hulladékok komposztálása könnyű, és nem okoz nehézséget az alkalmazók számára a szabályok betartása esetén. Más a helyzet azzal a biológiailag lebomló hulladékkal, amely állati eredetű anyagokat is tartalmaz. Ezek bomlása során különféle bűzös anyagok

szabadulhatnak fel, rovarok, élősködők, fertőző ágensek felbukkanása lehetséges, így komposztálásuk inkább csak a professzionális folyamatszabályozással felszerelt telepek számára javasolható. Az ilyen hulladék begyűjtésére a háztartásokhoz kihelyezett biokuka a legmegfelelőbb (lebomló zsákkal vagy zacskóval kibéelve).

5.2.1.10 A modellben alkalmazott szállításhoz kapcsolódó adatok

Az egyes tárolókból a következőbe tárolókba történő hulladékmozgások különböző járművel és eltérő edényekben történnek. Az egyes hulladékfajták szállítása ugyanazon szállítóeszközzel (pl. tömörítő jármű) különböző maximális szállítási tömeggel valósítható meg. Erre a 35. táblázat mutat példákat:

35. táblázat – Példa a járművek súlykapacitására egyes hulladékok és edények esetében

Hulladékfajta	Jármű	Edény	Hova	Kapacitás
vegyes hulladék	tömörítő (20 m ³)	kuka 60-1100 l	mechanikai kezelőmű	10000 kg
vegyes hulladék	tömörítő (20 m ³)	zsák	mechanikai kezelőmű	10000 kg
vegyes hulladék	tömörítő (20 m ³)	5 m ³ konténer	mechanikai kezelőmű	8000 kg
kevert szelektív	tömörítő (20 m ³)	kuka 60-1100 l	több fogadó	4500 kg
szelektív papír	tömörítő (20 m ³)	kuka 60-1100 l	több fogadó	5500 kg
szelektív műanyag	tömörítő (20 m ³)	kuka 60-1100 l	több fogadó	1200 kg

Lényeges meghatározni az egyes gyűjtőedényekbe rakható hulladékok maximális mennyiségét is. Ezt a mennyiséget két tényező befolyásolja: a hulladék sűrűsége és a tároló mérete. Erre mutatok be példát a 36. táblázatban.

36. táblázat – Példa a tárolóeszközök tömegkapacitására az egyes hulladékok esetében

Hulladékfajta	Edény	Tömegkapacitás
műanyag	5 m ³ konténer	125 kg
papír	szelektív sziget 1,1 m ³ edénye	130 kg
vegyes hulladék	30 m ³ görgős konténer	3 600 kg
papír	big-bag	120 kg
PET	big-bag	22 kg



5.2.1.11 A begyűjtés költségei

Egy hulladékgazdálkodási rendszer optimális kialakításához feltétlenül szükséges a műveletek költségének ismerete. A költségek két nagy csoportba sorolhatók: a begyűjtés költségei és a kezelés költségei. A begyűjtés költségeit ki kellett dolgozni a modellben szereplő különféle járművekre, figyelembe véve azt is, hogy ugyanazon járművel többféle hulladékfajtát többféle módon tudunk begyűjteni. Így a végső költségstruktúra az összes jármű / hulladék / gyűjtési mód variációban meghatározásra került. Lényeges hangsúlyozni, hogy a modellben felhasznált költségek a tapasztalatokon alapulnak, és az egyes térségekben, illetve üzemeltetőknél eltérőek lehetnek. Az egyes tevékenységek és anyagfajták valós költségeinek meghatározása egyébként a társaságok pénzügyi, kontrolleri részlegei számára is nehéz feladat, megfelelő módszertan birtokában azonban akár minden egyes járműnek kidolgozhatóak a költségei. A tevékenységek összköltségét (közvetlen költségek és arányos általános költség) azonban már jóval bizonytalanabb meghatározni az általános költségek sokféle arányosítási lehetősége miatt.

Ezért a modellezésben felhasznált költségértékek a közvetlen költségek és a közvetlen (első szintű) általános költségek összegét mutatják, a társasági szintű általános költségeket azonban nem tartalmazzák.

A kapott költségértékek más tényezőktől is jelentősen függenek: ilyenek többek között a felhasznált időszakban elvégzett munka jellege (pl. csak városi használat, szemben a régiós gyűjtéssel, vegyes használat területileg és anyagban stb.), az adott időszakban elvégzett nagyobb javítás összege (ami azonban nem beruházás jellegű, így nem amortizálódik).

Nehézséget jelenthet továbbá a fajlagos költségek viszonyítási alapjának meghatározása is. Ha például egy munkanapon egy jármű 10 tonna vegyes hulladékot gyűjt össze, akkor a Ft/t egységben kifejezett átlagköltsége jóval kedvezőbbnek látszik, mintha ugyanezen a napon csak 2 tonna műanyag hulladékot gyűjtött volna be. Ez a probléma a szakirodalomban is hangsúlyosan megjelenik. A szakirodalmi eredményeket részben felhasználva a következő költségstruktúrát dolgoztam ki:

1. Az üzemeltetés költségénél a gyűjtött anyag fajtájától független mutatót határoztam meg a Ft/(gyűjtésre fordított kilométer)



formájában. Ezt a költségértéket használtam a házhoz menő gyűjtésnél. Határozottan megkülönböztetem a gyűjtési és munkaterületre gurulási fázist.

2. A munkaterület elérésének és a kezelőközpontba történő szállításnak a költségét Ft/km értékben határoztam meg. Ez az érték minden gyűjtési változatnál megjelenik.
3. A gyűjtőpontos jellegű begyűjtésnél (konténer, szelektív sziget, lokális előkezelő stb.) a jármű órában kifejezett költségét használtam fel (Ft/óra).
4. A gyűjtőpontos begyűjtési változatoknál meghatároztam az egyes gyűjtődények üritéséhez szükséges időt.
5. A járművek tömegkapacitását minden gyűjtési verziónál meghatároztam. Ezt az értéket használja a modell a kezelőtelepre, illetve lerakóra való indulás szükségességének megállapításakor.

A házhoz menő gyűjtés költségszámításához a következő képletet használtam:

$$Költség = KFordszam * Tav * 2 * Gktg + Gyktg * 302^{17}$$

KFordszam: a begyűjtéshez szükséges fordulószám (db)

Tav: a modellterület távolsága a komplex kezelőtől (km)

Gktg: az oda/vissza út vonulási költsége (Ft/km)

Gyktg: a gyűjtés fajlagos költsége (Ft/óra)

A gyűjtőpontos gyűjtésnél alkalmazott képlet:

$$Költség = KFordszam * Tav * 2 * Gktg + Gktg * 302 * 0.2^{18} + (M/Kkapac) * Kido * Kktg$$

KFordszam: a begyűjtéshez szükséges fordulószám (db)

Tav: a modellterület távolsága a komplex kezelőtől (km)

Gktg: az oda-vissza út vonulási költsége (Ft/km)

M: a begyűjtendő mennyiség (kg)

KKapac: a szállítóeszközzel egy fuvarban vihető mennyiség (kg)

Kido: egy konténer/tartály/stb. üritéséhez szükséges idő (óra)

Kktg: egy konténer/tartály/stb. üritésének költsége (Ft/óra)

¹⁷ 302 km a gyűjtőjárat számított úthossza a mintatelepülésen, ld. 5.2.1.5. fejezet.

¹⁸ az úthossz meghatározása az 5.2.1.7. fejezetben leírtak szerint történik

A házhoz menő begyűjtés költségeire a 37. táblázat tartalmaz példákat.

37. táblázat – Példák a házhoz menő gyűjtés költségstruktúrájára és költségértékeire

változásjelző	állapot (honnan)	állapot (hova)	Ft/gyűjtéskm	Ft/guruláskm
tömörítő autó	kuka (vegyes)	mechanika kezelő	3 000	400
tömörítő	zsák (vegyes)	mechanika kezelő	3 100	400
kisteherjármű	kevert szelektív	lokális előkezelő	1 250	180
alternatív	kevert szelektív	lokális előkezelő	750	450

A gyűjtőpontos jellegű begyűjtés költségeire a 38. táblázat mutat be példákat.

38. táblázat - Példa a gyűjtőpontos gyűjtés költségstruktúrájára és költségértékeire

változásjelző	állapot (honnan)	állapot (hova)	Ft/munkaóra	kapacitás
tömörítő autó	5 m ³ konténer, vegyes	mechanika kezelő	10 000 Ft/óra	0,2 óra/konténer
tömörítő autó	5 m ³ konténer, műanyag	regionális válogatómű	10 000 Ft/óra	0,2 óra/konténer
tömörítő autó	szelektív sziget, papír	regionális válogatómű	10 000 Ft/óra	0,083 óra/edény

5.2.2 Előkészítési és elválasztási lehetőségek

5.2.2.1 Regionális léptékű kezelés

A vegyes hulladék kezelése a mai elfogadott rendszerekben mechanikai (MH) vagy mechanikai / biológiai (MBH) hulladékkezelő művekben történik. Ezekben a mágnesezhető és nem mágnesezhető fémek leválasztásán túl a fő kimenő anyagáram (a hasznosítás szempontjából) az éghető frakció RDF (refuse derived fuel – hulladékból előállított égethető frakció) vagy SRF (solid recovered fuel) formájában. Az optikai válogatóelemekkel felszerelt MH és MBH művek képesek a vegyes hulladék műanyag- és papírfrakcióját különválogatni és anyagában történő hasznosításra azt átadni. Az ily módon kinyert frakciók azonban magas szennyezettségük miatt csak korlátozottan



használható fel erre a célra (a papírgyártás például deklaráltan nem tud vele mit kezdeni), így ezek üzembe helyezése kérdéses beruházás.

A válogatási folyamat végén a legnagyobb részarányt a vegyes hulladék maradékfrakciója jelenti, melynek sorsa a lerakóban történő ártalmatlanítás. A tisztán mechanikai kezelés a jelentős tömegszázalékban jelen lévő biológiaiilag bontható frakciót eredeti (szerves) formájában helyezi a lerakóba, ahol az részben depóniagázzá alakul (aminek fő összetevői változó arányban CO_2 és CH_4 , tehát részben égetésre alkalmas gáz, ami gázkinyerő rendszer beépítését teszi szükségessé). A mechanikai kezelésből kikerülő frakció további kezelése a szerves frakció lebontása, mely az MBH-művekben lehetséges. A folyamat során a szerves frakció levegőn történő komposztálása, biológiai stabilizálása történik meg, így a lerakóba már egy jelentősen lecsökkentett szerves frakciót tartalmazó anyagáram kerül. A folyamat előnye, hogy ezzel a jelentős mennyiségű (a CO_2 -hoz képest 17-szeres) üvegházhatású metán kibocsájtását elkerülhetjük.

Mechanikai kezelőművet és lerakót csak regionális léptékben érdemes működtetni. A szelektív anyagáram kezelésére is regionális, nagytérségi művek jöttek létre az elmúlt években, hazai és uniós támogatások felhasználásával. Ezek a beérkező anyagokat előzetes rostálás után (mely a szelektív anyag szennyezettségének részleges eltávolítására szolgál) általában szállítószalagokról, emelt állásokon dolgozó kézi erővel válogatják ki. A válogatási folyamat végén a szalagon maradó anyagok a mechanikai kezelőbe kerülnek vagy aprítás után RDF-é válnak. A válogatási folyamat során jelentős számú haszonanyag választható le. Modellünk a kiindulási frakciókat figyelembe véve a következő kilépő anyagáramokat különbözteti meg:

- vegyes papír,
- hullámkarton,
- tetra italos karton,
- PET (nincs színek szerinti szétválasztás),
- PE (a frakció mind a HDPE, mind az LDPE anyagáramokat tartalmazza),
- egyéb műanyag (az összes többi anyagában hasznosítható műanyag, beleértve a kompozitokat is),



- nem vasfémek,
- vasfémek,
- válogatási maradék (minden olyan frakció és mennyiség, amely különbözik a fentiektől, gyakorlatilag a szelektív edények szennyezettsége vagy ki nem válogatott mennyisége).

Mivel a regionális válogatóművek jól felszerelt létesítmények, ezeknél garantálható a hasznosítók szabványos bálákra való igénye. Ez a bálaméret pl. papírból 400-500 kg körüli tömegű, lágyhuzal dróttal összefogott, téglatest alakú. Ez a forma a rakodás szempontjából is fontos, egy nyerges szerelvényre ~60 db fér fel, 22-24 tonna összsúllyal. A műben keletkező bálák mérete a bálázott anyag fajtájától függetlenül azonos, a bálák tömege értelemszerűen eltérő. A modell kidolgozása során a válogatóműben elvégezhető műveletek közül a bálázás aktusát vettem olyan műveletnek, amely egyedül csak itt végezhető el. Szorosan ide kapcsolódik a nagy méretű és -tömegű bálák mozgatása, tárolása és fuvareszközre történő rakodása. Így az ehhez szükséges anyagmozgató gépeket is csak a regionális műveknél feltételeztem. Ugyanide irányítottam az üveghulladék útját, mely súlya és veszélyes volta miatt csak géppel rakodható.

5.2.2.2 Lokális kezelés

A közszolgáltatók régi gyakorlata alapján kialakult szolgáltatási területek és gyűjtőközetek valamilyen szinten stabilizálódtak, bár ez nem feltétlenül került alaposan megvizsgálásra. A jellemzően begyűjtött hulladék a nagy sűrűségű vegyes hulladék volt, mely a háromtengelyes tömörítőlapos gyűjtőjárművek térfogatának rendelkezésre álló kapacitását teljesen kihasználva a jármű hasznos teherbírását is kihasználta. A kéttengelyes járműveknél ugyanaz a vegyes frakció jelentős többletsúlyt jelentett a teljesen megrakott járműveknél. A magas szintű elkülönített gyűjtés bevezetésével a hulladékból több, különböző sűrűségű (jellemzően könnyű) frakció lett kiválogatva. Ezekkel a könnyű sűrűségű anyagokkal a tömörítő autók hasznos teherbírását csak kis részben kihasználó mennyiségek gyűjthetők egy menetben. Láthatóvá vált, hogy a régi járatok ebben a feldarabolt anyagi struktúrában egyre kisebb



hatékonysággal tudnak működni. Modellem ezért tartalmazza a kétfázisú szállítás és a lokális előkezelés lehetőségét.

Más nézőpontból szemlélve megállapítható, hogy a kisméretű szállítóeszközök és alternatív megoldások esetében a csekély szállítható mennyiség és az ingatlantól begyűjtött szelektív anyag nagy távolságokra szállítása egyértelműen rontja a rendszer hatékonyságát. Ez a korlát eleve kizárja a hosszabb szállítási utak megtételét, így ezek üzemeltetése szorosan kapcsolódik a lokális kezeléshez.

Következésképpen egy költséghatékonyan működő távoli, kétfázisú begyűjtési rendszer mindenképpen egy közeli fogadó létesítményt feltételez. A modellben lokális és kistérségi léptéket különböztetem meg. Lokális alatt az adott településen megtalálható létesítményt értem. A kistérségi megoldásnál nem a területfejlesztésben évtizedekig használt kistérség fogalmat értem. A kistérségi lépték modellemben egy több (akár csupán kettő) település közös használatában és/vagy üzemeltetésében működő fogadópontra jelent. A lokális és a kistérségi hulladékfogadó létesítményeket a továbbiakban „lokális” néven fogom említeni.

A lokális előkezelés a kétfázisú szállítás két fázisa közé ékelődhet be. A településen bármilyen szállítóeszközzel begyűjtött hulladék nem kerül elszállításra az –adott esetben távoli - kezelőközpontba, hanem a helyi fogadó létesítménybe kerül ideiglenesen leürítésre.

A módszer alkalmazható akár tömörítő autóval történő gyűjtésnél is, azonban nagyobb jelentősége van a helyi lehetőségekre alapozott erőforrások használatánál. Tömörítő járműnél is előny lehet azonban a kétlépcsős megoldás, hiszen így a drága és költségesen üzemelő jármű nem a begyűjtött hulladék szállítására fordítja a munkaidőt, hanem a begyűjtési fázisban tud jelentősebb időt eltölteni

A lokális fogadókba tehát többnyire a kisebb kapacitású, de helyben rendelkezésre álló gyűjtőjárművek által begyűjtött hulladék érkezik. A beérkezett hulladék az esetek túlnyomó részében ömlesztett formában kerül leürítésre. Ezeken a fogadókön így valamilyen szintű előkezelési művelet elvégzésére lesz szükség.



A lokálisan elvégezhető legegyszerűbb művelet a beérkezett hulladék átsomagolása. Ez a beérkezett szelektív hulladékot annak eredeti begyűjtési összetételének megváltoztatása nélkül olyan csomagolóeszközbe helyezi el, ami a további szállítást egyszerűen (olcsóbban üzemelő járművel) elvégezhetővé teszi. Modellünk a következő gyűjtőket tartalmazza:

- big-bag (1 m³ űrtartalmú műanyag zsák, sokszor felhasználható).
- 5 m³-es konténer (láncos konténeres autóval szállítható).
- 5 m³-es öntömörítő konténer (1:2 - 1:5 arányú tömörítésre képes, láncos konténeres autóval szállítható).
- 30 m³-es konténer (multiliftes járművel szállítható).
- 30 m³-es öntömörítő konténer (1:2 - 1:5 arányú tömörítésre képes, multiliftes járművel szállítható).

Az aktuális hulladékgyűjtési rendszertől függően (egy vagy két edény áll rendelkezésre az ingatlannál a szelektív anyag részére) a következő anyagáramok átsomagolása történhet meg:

- kevert szelektív hulladék,
- papírhulladék (modellünkben hullámkarton, vegyes és tetra),
- műanyag hulladék (modellünkben PET, PE, egyéb műanyag, fémek).

Amennyiben rendszerszinten költségcsökkentést eredményez, az átsomagoláson túl a lokális egységben olyan nagyobb hozzáadott értékű feladatok is elvégezhetőek, mint pl. a válogatás. Mivel gépesítettségük alacsony vagy teljesen hiányzik, így a teljesítményük alacsonyabb, mint a regionális műveké. A minimális infrastruktúra miatt azonban a válogatás költsége is jóval kedvezőbb lehet a regionális nagyberuházásokhoz képest. Bálázógépet ilyen létesítménybe egyáltalán nem terveztem, így azt feltételeztem, hogy az előválogatás után a szelektív anyagok mindenképpen a regionális válogatóba kerülnek utóválogatásra vagy bálázásra.

A lokális előválogatás a központi válogatóművek jelentős részénél jelentkező azon problémára is megoldást jelenthet, ami szerint a szétválogatni kívánt frakciók száma jóval nagyobb, mint a válogatósoron rendelkezésre álló ledobó nyílások száma. Így a teljes hulladékmennyiség kiválogatásához a már részben kiválogatott anyagáram válogatási folyamat elejére történő visszavezetése lenne szükséges. Ez azonban valószínűleg sok esetben nem történik meg, így



a begyűjtött haszonanyag egy része elvész az anyagában történő hasznosítás számára. Az extenzív lokális szétválogatásból származó haszonanyag csoportok válogatósorra adása ezt a problémát kiküszöböli: pl. a beérkező PET anyagáramot kell csak szín szerint kiválogatnia az ott dolgozó munkásoknak, amire minden válogatósor elegendő ledobó nyílással rendelkezik. A beérkező előválogatott papír frakciónál a karton, vegyes és tetra frakciók kiválogatása gyorsabban és pontosabban tud valósítható meg. Az ilyen módszerű, előválogatott anyag válogatását a soron dolgozó emberek is jóval nagyobb eredménnyel tudják elvégezni. Ez a gyakorlat jelentősen tudná csökkenteni a ki nem válogatott mennyiséget, miközben a válogatás pontossága, sebessége növelhető, emberigénye csökkenthető, így a folyamat hatékonysága jelentősen növelhető.

Az itt megtakarított dolgozói létszám nem jelent valós csökkentést, hiszen a lokális művekben is szükséges válogatói létszám beállítása. Lényeges azonban, a decentralizált rendszerek sokkal több településen jelentenek munkaerő-szükségletet, ami a vidéki Magyarországon jelentős eredmény.

A lokális válogatáshoz kapcsolva többféle hulladékutató építettünk a modellbe. A bejövő anyag összetételétől függően lehetséges a főbb anyagfajták (papír, műanyag) szétválogatása, azonban megfelelő feltételek rendelkezésre állása esetén elképzelhető a vegyes papír-hullámpapír-tetra frakció szétválogatása, a PET, a PE és az egyéb műanyagok szétválasztása, valamint a vasfémek elválasztása a nem mágnesezhető fémektől.

A kétkukás rendszerben elvégezhető, modellbe épített válogatási lehetőségeket a következő felsorolás mutatja be:

Kiindulási frakció: kevert szelektív

válogatás 1. szisztéma:	<papírok>, <műanyagok, fémek>
válogatás 2. szisztéma:	<vegyes papír>, <hullámkarton>, <tetra>, <műanyagok, fémek>
válogatás 3. szisztéma:	<vegyes papír>, <hullámkarton>, <tetra>, <PET>, <PE>, <egyéb műanyagok>, <vasfémek>, <nemvas-fémek>

Az egyes kiválogatott frakciók tárolási helyei a következők lehetnek:



- big-bag,
- 5m³-es öntömörítő konténer,
- 5m³-es konténer,
- 30 m³-es konténer,
- 30 m³-es öntömörítő konténer.

A modell jelenlegi leírása nem teszi lehetővé a tárolóedények egyidejű sokféleségét: egy sémában minden anyagféleség ugyanolyan edényben kerül tárolásra.

A háromedényes (két szelektív edényt tartalmazó) rendszerben a válogatás kimenetei a következők lehetnek:

Kiindulási frakció 1.: papír

válogatás 1. szisztéma: <vegyes papír>, <hullámkarton>, <tetra>

Az kiválogatott frakciók tárolási helyei itt is a következők lehetnek:

- big-bag,
- 5m³-es öntömörítő konténer,
- 5m³-es konténer,
- 30 m³-es konténer,
- 30 m³-es öntömörítő konténer.

Kiindulási frakció 2.: műanyag, fémek

válogatás 1. szisztéma: <PET>, <PE>, <egyéb műanyagok>, <vasfémek>, <nemvas-fémek>

A lehetséges tárolási helyek megegyeznek a fenti edénylistával.

5.2.2.3 A válogatott hulladékok szállítása

A jelentős számban keletkező hulladékfajták sokféle tárolóedényben lehetnek elhelyezve. Ezek minden esetben elszállításra kerülnek a regionális kezelőműbe részben további válogatásra, részben bálázásra.

A big-bag zsákokba csomagolt hulladékok a következő járművekkel szállíthatók el:

- darus felépítménnyel felszerelt multiliftes jármű vagy görgős konténer (szerelvénnyel is: két konténer egyidejű mozgatása),



5 tömörítő hulladékgyűjtő jármű.

Az 5 m³-es konténereket

- láncos konténeres jármű (elméletileg egy szerelvényben 3 db, a modellben egy darab),
- darus szállítóeszköz (helyben történő beürítéssel, inkább a fém frakciókhoz),
- tömörítő gépkocsi (nagykonténer-ürítővel felszerelt felépítmény szükséges)

lehetséges a modellben elszállítani.

Az 5 m³-es tömörítő konténereket csak láncos konténeres járművel lehet szállítani, azonban ezek terjedelme nem teszi egyértelműen lehetségessé a többkonténeres szállítást, így itt csak egy konténer egyidejű mozgatásával számolok.

A 30 m³-es görgős konténereket és ezek tömörítő változatait a multiliftes autók képesek mozgatni, azonban egy forduló során egy szerelvényben két konténer szállítását tudják elvégezni (a modellben egy konténer egyidejű szállításával számolok).

5.2.2.4 A kezelés költségei

A begyűjtés költségei mellett a másik nagy költségcsoport a kezelési tevékenységek költsége. Ez nagyban függ a kezelt anyag fajtájától. A kezelés költsége a különböző anyagfélésekre Ft/kg-ban lett meghatározva. Figyelembe vettük a különböző létesítmények adottságait, az anyagok tulajdonságait és a használt tárolóedények sajátosságait. Lényeges, hogy az edények beruházási (és amortizációs) költségeivel nem kalkuláltam, az eltérő fajlagos költségek az adott edény munkaiányát mutatják.

A kezelési költségekre mutat értékeket a 39. táblázat.

39. táblázat – Példák a kezelés fajlagos költségeire

mechanikai kezelés	6 Ft/kg
szelektív anyag előkezelés regionális műben	3-30 Ft/kg
lerakás	12 Ft/kg
lokális átcsomagolás konténerbe, big-bag zsákba	4-5 Ft/kg



5.2.2.5 A rendszer bevételei

A rendszer végső gazdaságosságának számítása a begyűjtés és előkezelés költségén túl még két gazdasági tényező ismeretét teszi szükségessé.

Az első a háztartás által a szolgáltatásért fizetendő közszolgáltatási díj. Ennek összegét valójában a rendszer működésének költségei és a befolyó bevételek összegzése után várhatóan fennmaradó összeg felosztása után tudjuk megadni. Alapvető elvárás egy hulladékgazdálkodási rendszerrel szemben, hogy az legalább nullszaldós legyen, azaz a befolyó bevételek fedezzék a ráfordításokat. Itt is felhívom a figyelmet, hogy az általam használt költségértékek csak a közvetlen üzemeltetés és a közvetlen irányítás általános költségeit tartalmazza, a vállalati szintű ráfordításokat nem. Így a számítás során kialakuló szolgáltatási díj mértéke a fajlagos általános költséggel kevesebb, mint a valóságban.

A másik lényeges elem, mely jelentősen hozzájárulhat a rendszer bevételeihez (és csökkentheti a szolgáltatást igénybevevő díját), a begyűjtött, válogatott és bálázott haszonanyagok értékesítéséből származó árbevétel. A modellben eltekintettem attól, hogy a dolgozat írása pillanatában a haszonanyag az NHKV Zrt. tulajdonát képezi és értékesítését is maga végzi. Az egyes hulladékgazdálkodási régiók gazdaságosságának vizsgálata szempontjából ez a tény nem bír relevanciával, mivel az adott területen képződő árbevételnek minősül, így összevonható a működési költségekkel (ugyanaz igaz a közszolgáltatási díjbevételre is, mely szintén az NHKV-nak folyik be).

A bálázott haszonanyagok értékesítési árait és a költségképző tevékenységek fajlagosait a 41-42. táblázatokban szerint állapítottuk meg. Bár a modellben nem számszerűsítettük, de mindenképpen meg kell említeni, hogy a vidéki területeken keletkezett biomassza igen alkalmasnak tűnik fosszilis energiahordozók részbeni kiváltására (Németh , 2008.), (Mezei, Kovács, Trenyik, & Nagy, 2018).

40. táblázat – A regionális műveletek tevékenységek költségei

	Ft/kg
lerakás	-12
mechanikai kezelés	-6
válogatás (regionális)	-3--30

41. táblázat – Az egyes bálázott haszonanyagok értékesítési árai

	Ft/kg
vasfém	6
RDF	1
vegyes papír	20
hullámpapír	33
tetrapack	6
PET (vegyes)	60
PE (HD és LD)	50
egyéb műanyag	15
alumínium	300
üveg	2

5.2.3 A folyamathálózat tárolási és feldolgozási elemeinek rendszerezése

A modellben a hulladék elválasztásokon keresztül halad tárolóról-tárolóra. A kezdő elválasztás az ingatlan, ahol a hulladék keletkezik, majd valamilyen szállításokon keresztül eljut a lehetséges további elválasztásokhoz. A tárolók (állapot elemek) jellemzően edények, kezelőlétesítmények tárolási helyei, valamint bálázott és ömlesztett hulladékok. A 42. táblázat a modell állapot elemeinek (states) csoportjait mutatja be.

A változás elemek azok az elemi folyamatok, amelyek segítségével az egyes állapot elemekből valamilyen módosuláson keresztül a következő állapot elemekbe kerül a hulladék. Ilyenek a gyűjtési, begyűjtési tevékenységek, a szállítások, illetve válogatási és egyéb kezelési eljárások. A 43. táblázat ezek csoportosítását mutatja meg. A változások jóval nagyobb számban jelennek meg a modellben, mint az állapotok.

42. táblázat – A modellben alkalmazott állapot elemek (tárolások) csoportosítása

	db	Leírás
Állapotcsoport 1	1	ingatlan
Állapotcsoport 2	4	vegyes hulladék gyűjtő edényzet (kuka-tartály-konténer)
Állapotcsoport 3	8	szelektív hulladék gyűjtő edényzet (kuka-tartály-molok)
Állapotcsoport 4	24	szelektív hulladék tárolására szolgáló görgős konténerek (30 m ³ -es és 30m ³ -es tömörítős)
Állapotcsoport 5	25	szelektív hulladék tárolására szolgáló láncos konténerek (5 m ³ -es és 5m ³ -es tömörítős)
Állapotcsoport 6	8	bálázott szelektív anyag
Állapotcsoport 7	11	szelektív hulladék tárolására szolgáló zsákok (1 m ³ -es big-bag)
Állapotcsoport 8	5	ömlesztett formában tárolt elkülönített hulladék
Állapotcsoport 9	7	biohulladék tárolása (gyűjtőpont-komposztáló-házi komposztáló)
Állapotcsoport 10	11	lokális és kistérségi előkezelő
Állapotcsoport 11	5	lerakó, mechanikai kezelőmű, regionális válogatómű

43. táblázat – A változáselemek (elválasztások, szállítások) csoportjai a modellben

	db	Leírás
Változáscsoport 1	106	gyűjtési séma (ingatlantól)
Változáscsoport 2	53	tömörítőlapos hulladékgyűjtő jármű
Változáscsoport 3	31	láncos konténeres jármű
Változáscsoport 4	20	horgos konténeres jármű
Változáscsoport 5	27	darus emelőszerkezettel felszerelt jármű
Változáscsoport 6	15	kisteheryű
Változáscsoport 7	12	alternatív jármű
Változáscsoport 8	2	regionális méretű mechanikai kezelés, válogatás-bálázás
Változáscsoport 9	30	lokális átsomagolás
Változáscsoport 10	25	lokális válogatás
Változáscsoport 11	25	kistérségi válogatás



5.3 A lehetséges folyamathálózatok leírása

A folyamatok lehetséges állapot és változás elemeinek leírását a WNall.txt szöveges fájl tartalmazza. Ez egy rögzített szintaxis szerint írja le mindazon információkat, melyeket a PROLOG programozási nyelven írt Programozható Struktúrák általános programja folyamatmodellt generáló inputként tud fogadni. Maga a WNall.txt teljes terjedelmében megtalálható az elektronikus mellékletben. Ez a fejezet tipikus részleteken keresztül mutatja be a folyamathálózat leírásának felépítését.

A leíró fájl első kódrésze a háztartás, mint állapot elem által termelt hulladék fajták felsorolása:

```
dcode(haztartas,[vegyes,papir,karton,tetra,pet,pe,egyeb_ma,fe_fem,nemfe_fem,uveg,zold_hazi,zold_kerti]).
```

Ezt követi az állapot és változás elemek felsorolása, az átláthatóság és könnyebb olvashatóság érdekében csoportosítva. Az alábbi 1. részlet a háztartás számára rendelkezésre álló edényeket sorolja fel. Értelemszerűen egy lehetséges megoldás futtatása során ezek közül nem mindegyik áll rendelkezésre, csak az adott sémában engedélyezettek választhatók ki. A 2. részlet a biológiailag lebomló hulladék kezelésénél használt állapot elemeket mutatja. A gyűjtőpontok mellett megjelennek a házi, regionális és lokális komposztálók is.

```
~~~~~1
states([],[gye_sz_60_240,gye_sz_60_240_M,gye_sz_60_240_P,gye_szel_molok_M,gye_szel_molok_P,gye_szel_sziget_M,gye_szel_sziget_P,gye_szel_sziget_U]).
~~~~~
```

```
~~~~~2
states([],[gyujtopont_bio,gyujtopont_kerti,gyujtopont_vegyes,hazi_komposztalo,komposztalo_komposztalo_kisters,komposztalo_lok]).
~~~~~
```

A leíró részben a következő csoport a változás elemek felsorolása. A 3. részlet a tömörítő gépjármű megjelenési változatait deklarálja.

```
~~~~~3
transitions([],[tomoritos1,tomoritos2,tomoritos3,tomoritos4,tomoritos5,tomoritos6,tomoritos7,tomoritos8,tomoritos9,tomoritos10,tomoritos11,tomoritos12,tomoritos13,tomoritos14,tomoritos15,tomoritos16,tomoritos17,tomoritos18,tomoritos19,tomoritos20,tomoritos21,tomoritos22,tomoritos23,tomoritos24,tomoritos25,tomoritos26,tomoritos27,tomoritos28,tomoritos29,tomoritos30,tomoritos31,tomoritos32,tomoritos33,tomoritos34,tomoritos35,tomoritos36,tomoritos37,tomoritos38,tomoritos39,tomoritos40,tomoritos41,tomoritos42,tomoritos43,tomoritos44,tomoritos45,tomoritos46,tomoritos47,tomoritos48,tomoritos49,tomoritos50,tomoritos51,tomoritos52,tomoritos53,tomoritos54,tomoritos55,tomoritos56,tomoritos57,tomoritos58,tomoritos59,tomoritos60,tomoritos61,tomoritos62,tomoritos63,tomoritos64,tomoritos65,tomoritos66,tomoritos67,tomoritos68,tomoritos69,tomoritos70,tomoritos71,tomoritos72,tomoritos73,tomoritos74,tomoritos75,tomoritos76,tomoritos77,tomoritos78,tomoritos79,tomoritos80,tomoritos81,tomoritos82,tomoritos83,tomoritos84,tomoritos85,tomoritos86,tomoritos87,tomoritos88,tomoritos89,tomoritos90,tomoritos91,tomoritos92,tomoritos93,tomoritos94,tomoritos95,tomoritos96,tomoritos97,tomoritos98,tomoritos99,tomoritos100]).
~~~~~
```



ritos15,tomoritos16,tomoritos17,tomoritos18,tomoritos19,tomoritos22,tomoritos23,tomoritos24,tomoritos25,tomoritos26,tomoritos27,tomoritos28,tomoritos31,tomoritos32,tomoritos33,tomoritos34,tomoritos35,tomoritos36,tomoritos37,tomoritos38,tomoritos39,tomoritos40,tomoritos41,tomoritos42,tomoritos43,tomoritos44,tomoritos45,tomoritos46,tomoritos47,tomoritos48,tomoritos51,tomoritos52,tomoritos53}).

~~~~~

A 4. részlet a mechanikai kezelést és a szelektív válogatás különböző verzióit definiálja.

~~~~~4

transitions([], [mk, val_bal1, val_bal2, val_bal21, val_bal3, val_bal31, val_bal4]).

~~~~~

Az alkalmazott módszer változás-orientált ismeret reprezentációjával összhangban a (lehetséges) folyamatok struktúráját az elemi változások határozzák meg. Az adott esetben használt "szétválasztó" (disassembly) típusú folyamat hálózatok **szétválasztó/kezelő típusú változás** elemeit a

*trans(YN, Transition\_name, [From\_state], [a(To\_state1, [Fractions1]), a(To\_state2, [Fractions2]), ...], [], []).*

szintaxis szerint írjuk le, ahol

*YN = az eleme be- illetve kikapcsolt állapotára utaló y vagy n érték;*

*Transition\_name = egy előzetesen deklarált változás név;*

*From\_state = a szétválasztandó/kezelendő anyagok tárolójának előzetesen deklarált neve;*

*To\_state1, To\_state2, ... = a szétválasztott/kezelt frakciók tárolóinak előzetesen deklarált neve;*

*Fractions1, Fractions2, ... = a szétválasztott/kezelt frakciók komponenseinek listái ([]) - ben felsorolva, vesszővel elválasztva.*

Az 5. leírásrészlet a háztartási szelektálás lehetőségeinek egy kis részletét írja le. Megjelennek az adott sémában alkalmazott edények és az azokba gyűjtött hulladékfajták.

~~~~~5

%VEGYES EGYBEN, NINCS KOMPOSZTALAS

trans(n,s101,[haztartas],[a(kuka_60_1100,[vegyes,papir,karton,tetra,pet,pe,egyeb_ma,fe_fm,nemfe_fem,uveg,zold_hazi,zold_kerti]),[],[]).

%KÉTEDÉNYES GYŰJTÉS, HÁZI KOMPOSZTALAS, ÜVEG SZEL_SZIGETEN



```
rans(n,s205,[haztartas],[a(kuka_60_1100,[vegyes,zold_hazi]),a(gye_sz_60_240,[papir,kart
on,tetra,pet,pe,egyeb_ma,fe_fem,nemfe_fem]),a(hazi_komposztalo,[zold_kerti]),a(gye_szel_s
ziget_U,[uveg])),[],[]).
```

%HÁROMEDÉNYES GYŰJTÉS, ZOLD GYŰJTÉS, ÜVEG SZEL_SZIGETEN

```
rans(n,s313,[haztartas],[a(kuka_60_1100,[vegyes,zold_hazi]),a(gye_sz_60_240_P,[papir,k
arton,tetra]),a(gye_sz_60_240_M,[pet,pe,egyeb_ma,fe_fem,nemfe_fem]),a(zsak_koteg,[zold
_kerti]),a(gye_szel_sziget_U,[uveg])),[],[]).
```

~~~~~

Az adott esetben használt "szétválasztó" (disassembly) típusú folyamat hálózatok **szállító típusú változás elemeit** a

```
rans(YN,Transition_name,[From_state],[To_state],[[],[]]).
```

szintaxis szerint írjuk le, ahol

*YN = az eleme be- illetve kikapcsolt állapotára utaló y vagy n érték;*

*Transition\_name = egy előzetesen deklarált változás (szállító eszköz) név;*

*From\_state = a szállítandó anyag küldő tárolója;*

*To\_state = a szállítandó anyag fogadó tárolója.*

A 6. részlet a szállításokra mutat példát. Ebben az esetben egy tömörítő jármű vegyes hulladékot szállít a mechanikai kezelőbe, valamint egy kisteherjármű papírt tartalmazó (három edényes gyűjtés) szelektív edényekből gyűjt és szállítja az anyagot a lokális előkezelő papír szekciójába.

~~~~~6

```
rans(y,tomoritos1,[kuka_60_1100],[mech_kez],[[],[]]).
```

```
rans(n,kisteher4,[gye_sz_60_240_P],[lok_EK_P],[[],[]]).
```

~~~~~

Példaképpen regionális kezeléseket bemenő és kimenő anyagait írja le a 7. részlet. A kimenő anyagok a különböző hulladékfélék bálái és a válogatási maradék.

A lokális átcsomagolás a beérkező kevert szelektív anyagot válogatás nélkül big-bag zsákokba csomagolja át. A lokális válogatás bemenő anyaga kevert szelektív hulladék, a válogatás eredménye pedig big-bag-be válogatott papír (mindenféle papír, további válogatás nélkül) és big-bag-be válogatott műanyag és fém (szintén mindenféle műanyag és fém, kevert állapotban).

~~~~~7

```
rans(y,val_ball,[reg_val_mu],[a(bala_P_vegyes,[papir]),a(bala_hullam,[karton]),a(bala_t
etra,[tetra]),a(bala_PET,[pet]),a(bala_PE,[pe]),a(bala_egyeb_M,[egyeb_ma]),a(bala_nfe_f
```



em,[nemfe_fem]),a(bala_fe_fem,[fe_fem]),a(val_maradek,[vegyes,uveg,zold_hazi,zold_kerti]),[],[]).

trans(n,lok_atcsom1,[lok_EK_kevert],[a(bigbag_kevert,[papir,karton,tetra,pet,pe,egyeb_ma,fe_fem,nemfe_fem]),[],[]).

trans(n,lok_val1,[lok_EK_kevert],[a(bigbag_P,[papir,karton,tetra]),a(bigbag_M,[pet,pe,egyeb_ma,fe_fem,nemfe_fem]),[],[]).

~~~~~

A 8. részlet szerint az előzőleg létrehozott, kevert szelektív anyagot tartalmazó big-bag zsákokat a darus17 járművel szállítjuk el a regionális válogatóba.

~~~~~8

trans(n,darus17,[bigbag_kevert],[reg_val_mu],[],[]).

~~~~~

## 5.4 A teljes folyamatmodell paraméterezése és generálása

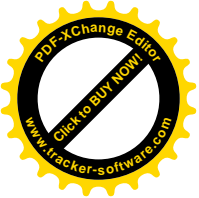
A folyamatmodell elemeihez tartozó paramétereket az elektronikus mellékleten található WD.xlsx állományban mutatom be. A folyamatmodell generátor az Excel-fájl ismeretében algoritmikusan készített (ugyancsak az elektronikus mellékleten található) WD.txt szöveges állomány alapján veszi figyelembe a paramétereket. A paraméterek leírására az 44-45. táblázatokban mutatok be példákat.

A szállítással összefüggő változásokat leíró 46. számú táblázat mérete nem teszi lehetővé kivágott példa megjelenítését, így a következő táblázatban a fejlécek felsorolása látható egy tömörítő jármű és egy konténeres jármű adataival és kifejezéseivel (a sorok oszlopokká lettek transzponálva).

A szállítások paramétereinek leírása a WD.txt állományban a következőképpen néz ki (a 47. táblázatban szereplő tömörítő1 és konténeres1 jármű példáján):

*t\_param([],tomoritos1,transporting,[d(kapacitas,[10000],kg\_szalleszkoz),d(tavolsag,[10],km),d(gyujteskoltseg,[2500],ft\_gyujteskm),d(gurulaskoltseg,[300],ft\_gurulaskm),d(kontkoltseg,[0],ft\_ora),d(kontenerido,[0],ora\_kont),d(kontener\_kapac,[0],kg),d(atalanyktg,[0],ft\_kg),d(also\_korlat,[0],kg)),[t(0,365,[0],7)]).*

*t\_param([],konteneres1,transporting,[d(kapacitas,[600],kg\_szalleszkoz),d(tavolsag,[10],km),d(gyujteskoltseg,[0],ft\_gyujteskm),d(gurulaskoltseg,[280],ft\_gurulaskm),d(kontkoltseg,[10000],ft\_ora),d(kontenerido,[0,2],ora\_kont),d(kontener\_kapac,[600],kg),d(atalanyktg,[0],ft\_kg),d(also\_korlat,[0],kg)),[t(0,365,[0],7)]).*



#### 44. táblázat – Példák az állapot paraméterek leírására a WD.txt fájlból

Állapot elem	Prototípus	Leírás
kuka_60_1100	state	s_param([],kuka_60_1100,state,[],[]).
kontener_5	state	s_param([],kontener_5,state,[],[]).
kontener_30	state	s_param([],kontener_30,state,[],[]).
gye_molok	state	s_param([],gye_molok,state,[],[]).
		~~~~~

45. táblázat - Példák az elválasztási és kezelési paraméterek leírására a WD.txt fájlból

Változás elem	Prototípus	Átalány költség	Mennyiség	Ft/kg	Leírás
s101	selecting	atalanyktg	0,00	ft_kg	t_param([],s101,selecting,[d(atalanyktg,[0],ft_kg)],[]).
s102	selecting	atalanyktg	0,00	ft_kg	t_param([],s102,selecting,[d(atalanyktg,[0],ft_kg)],[]).
s103	selecting	atalanyktg	0,00	ft_kg	t_param([],s103,selecting,[d(atalanyktg,[0],ft_kg)],[]).
					~~~~~
mk	selecting	atalanyktg	6,00	ft_kg	t_param([],mk,selecting,[d(atalanyktg,[6],ft_kg)],[]).
val_bal1	selecting	atalanyktg	30,00	ft_kg	t_param([],val_bal1,selecting,[d(atalanyktg,[30],ft_kg)],[]).
val_bal2	selecting	atalanyktg	15,00	ft_kg	t_param([],val_bal2,selecting,[d(atalanyktg,[15],ft_kg)],[]).
					~~~~~
lok_atcsom21	selecting	atalanyktg	4,00	ft_kg	t_param([],lok_atcsom21,selecting,[d(atalanyktg,[4],ft_kg)],[]).
lok_atcsom22	selecting	atalanyktg	5,00	ft_kg	t_param([],lok_atcsom22,selecting,[d(atalanyktg,[5],ft_kg)],[]).
					~~~~~
lok_val14	selecting	atalanyktg	21,00	ft_kg	t_param([],lok_val14,selecting,[d(atalanyktg,[21],ft_kg)],[]).
					~~~~~

46. táblázat – A szállítási tevékenységek leírásának egy transzponált részlete a WD.txt fájlból

A táblázat fejlécei	Házhoz menő gyűjtés példaértékei	Gyűjtőpontos gyűjtés példaértékei
Távolság	tavolsag	tavolsag
mennyiség	10,00	10,00
Km	km	km
Gyűjtésköltség	gyujteskoltseg	gyujteskoltseg
mennyiség	3000,00	0,00
Ft/gyűjtéskm	ft_gyujteskm	ft_gyujteskm
Gurulásköltség	gurulaskoltseg	gurulaskoltseg
mennyiség	400,00	280,00
Ft/guruláskm	ft_gurulaskm	ft_gurulaskm
Konténer költség	kontkoltseg	kontkoltseg
mennyiség	0,00	10000,00
Ft/óra	ft_ora	ft_ora
Konténer idő	kontenerido	kontenerido
mennyiség	0,00	0,20
Óra/konténer	ora_kont	ora_kont
Konténer kapacitás	kontener_kapac	kontener_kapac
mennyiség	0,00	600,00
Kg	kg	kg
Átalány költség	atalanyktg	atalanyktg
mennyiség	0,00	0,00
Ft/kg	ft_kg	ft_kg
Alsó korlát, kg	also_korlat	also_korlat
mennyiség	0,00	0,00
kg	kg	kg
Időzítés	t(0,365,[0],7)	t(0,365,[0],7)

A munkámban felhasznált általános rendeltetésű folyamatmodell generátor egy-egy általános állapot és változás meta-prototípus, a folyamathálózat leírása (WN.txt), valamint az input adatok és paraméterek leírása (WD.xlsx, illetve az ebből készített WD.txt állomány) ismeretében automatikusan generálja a folyamatmodell szerkeszthető GraphML Programozható Struktúráját.

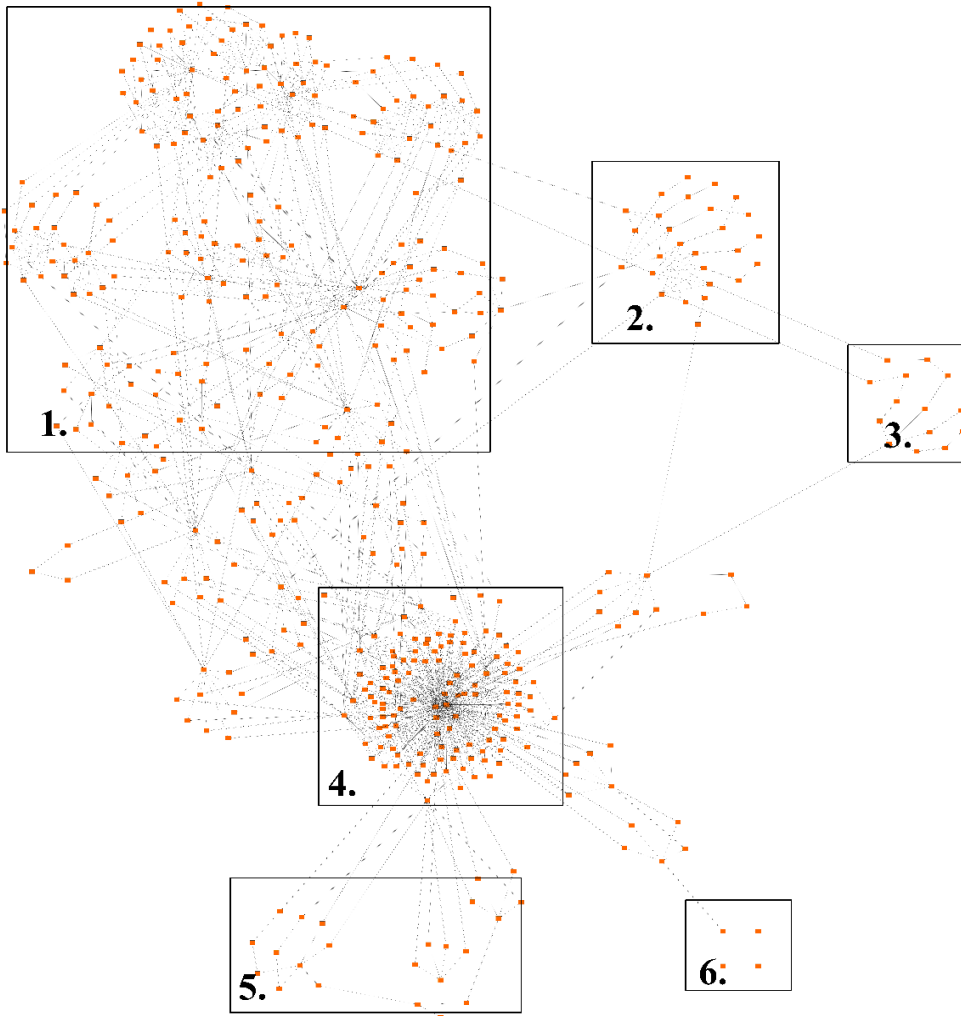
A folyamat hálózat összes lehetséges elemét tartalmazó generált Programozható Struktúra rajza a 8. ábrán látható.



8. ábra - A generált teljes folyamathálózat GraphML képe

A GraphML állomány az összes lehetséges állapot (tárolási) és változás (elválasztási, szállítási és végtermék kibocsátási) elemet, valamint a köztük lévő összes kapcsolatot határozza meg. Az állomány elemei szerkeszthető formában tartalmazzák a kezdeti paramétereket, valamint a különféle, korábban említett szimulációs és értékelési paramétereket is. A modell reprezentáció támogatja a kezdeti jellemzőkkel és paraméterekkel összhangban készíthető lokális program prototípusok szerkesztését is. A modellben jelenleg használt két állapot és három változás prototípust a meta-prototípusok másolataiból készítettem el.

A teljes folyamathálózat egy egyszerűsített ábrázolása látható a 9. ábrán.



9. ábra - A generált teljes folyamathálózat egyszerűsített szemléltetése

Az első verziójú gráf 4444 csomóponttal és 1552 éllel rendelkezik.

A rajzolt négyszögekkel néhány tipikus csoportra mutatok be példákat a (értelmezésük a 48. táblázatban látható).

47. táblázat – A teljes lehetőségtér struktúra tipikus részei

1.	Lokális és kistérségi előkezelések
2.	Regionális válogatás
3.	Mechanikai kezelés és ártalmatlanítás
4.	Az ingatlantól induló sémák
5.	Komposztálás
6.	Üveghulladék



Jelen esetben a folyamat modell számításához alkalmazott konkrét lokális program prototípusok a következők:

- "state" állapot prototípus: összegzi különféle csökkentő és növelő input változásoknak az adott tárolóhelyre gyakorolt hatását, és meghatározza az output mennyiségeket;
- "home" állapot prototípus: fajtánként meghatározza a 10 000 háztartás napi vagy heti hulladék termelését (egy lehetséges továbbfejlesztés esetén a modell kezelheti a hulladék mennyiségének és összetételének szezonális változásait is, valamint az elválasztás változtatható tisztaságának figyelembevételét is). A háztartásokat leíró állapot elem a modell egyetlen input eleme (a teljes modell egy konzekutív elágazásokat leíró "disassembly" típusú struktúra, amelyben azonban lehetnek recirkulációs kapcsolatok is);
- "selecting" változás prototípus: a háztartási, lokális, kistérségi és regionális elválasztások és a kapcsolódó költségek számítását biztosítja (egy lehetséges továbbfejlesztés esetén ez a modell kezelheti a hulladék elválasztás változtatható hatásfokának és tisztaságának figyelembevételét is);
- "transporting" változás prototípus: a különböző helyszínek között, különféle járművek felhasználásával lebonyolított szállításokat, valamint az ehhez kapcsolódó és paraméterként megadott költségeket számítja. Két tárolás között különféle alternatív szállítások lehetségesek;
- "outlet" változás prototípus: a folyamatból kilépő költségekkel járó lerakást, valamint a bevételekkel járó szelektált hulladék "értékesítéseket" számítja.

5.5 Példamegoldások szimulációja és elemzése

A felépített modell illusztrálására néhány egyszerűbb megoldást mutatok be. Az alternatív megoldások generálásának szokásos módszere a következő:

- a folyamat hálózat leíró WNall.txt állományban azon és csak azon trans() típusú változás elemek YN státuszát állítjuk y-re, amelyekre az egyedi modellben szükség van (a többi elem státuszát n-re módosítjuk);
- az így módosított WN, és az eredeti WD állomány, valamint a két metaprototípus felhasználásával generáljuk a modellt;
- a generált GraphML leírásból a Programozható Struktúrák egy további általános algoritmusával generáljuk a szimulációs modellt leíró két dinamikus Prolog adatbázist;
- a Programozható Struktúrák egy további általános algoritmusával elvégezzük a dinamikus szimulációt, amelynek számítási eredménye egy .csv állományban jelenik meg.

A következőkben először az S101 háztartási szelekciós sémához tartozó folyamatmodellt mutatom be. A ma már túlhaladott, legegyszerűbb S101 begyűjtési módszer leírása a következő:

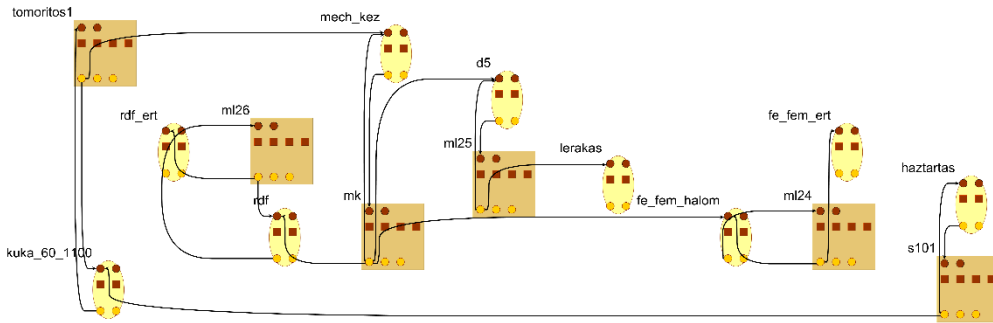
```
trans(y,s101,[haztartas],[a(kuka_60_1100,[vegyes,papir,karton,tetra,pet,pe,egyeb_ma,fe_fem,nemfe_fem,uveg,zold_hazi,zold_kerti]),[],[]).
```

Az ehhez kapcsolódó folyamathálózat elemei a következők:

```
[haztartas,haztartas,s101,kuka_60_1100,tomoritos1,mech_kez,mk,fe_fem_halom,nemfe_fem_halom,d5,rdf,ml24,ml29,ml25,ml26,fe_fem_ert,nemfe_fem_ert,lerakas,rdf_ert]
```

Ez a séma egy edénybe gyűjt minden, a háztartásban keletkező hulladékot, melyet egy tömörítő jármű a központi mechanikai kezelőbe szállít, ahol kezelésre kerül. A kezelés eredménye a kiválogatott fémfrakciók és az égetésre kerülő RDF, a maradék pedig lerakásra kerül. A folyamatmodell a 10. ábrán látható. A dinamikus szimulációs modellt a GraphML leírás alapján generálja, majd futtatja a Programozható Struktúrákat kezelő keretrendszer. A szimuláció eredményeként az idő függvényében követhető a hulladékok mennyiségének változása, valamint a gyűjtési és előkezelési tevékenységek költségeinek alakulása. Követhető a haszonanyagok értékesítéséből befolyó árbevétel is, így nyomon követhető a 10 000 ingatlanos próbaterület meghatározott hulladékgazdálkodási rendszerének összes további (gyűjtési és elválasztási)

költsége.



10. ábra – Az S101 folyamat ábrázolása

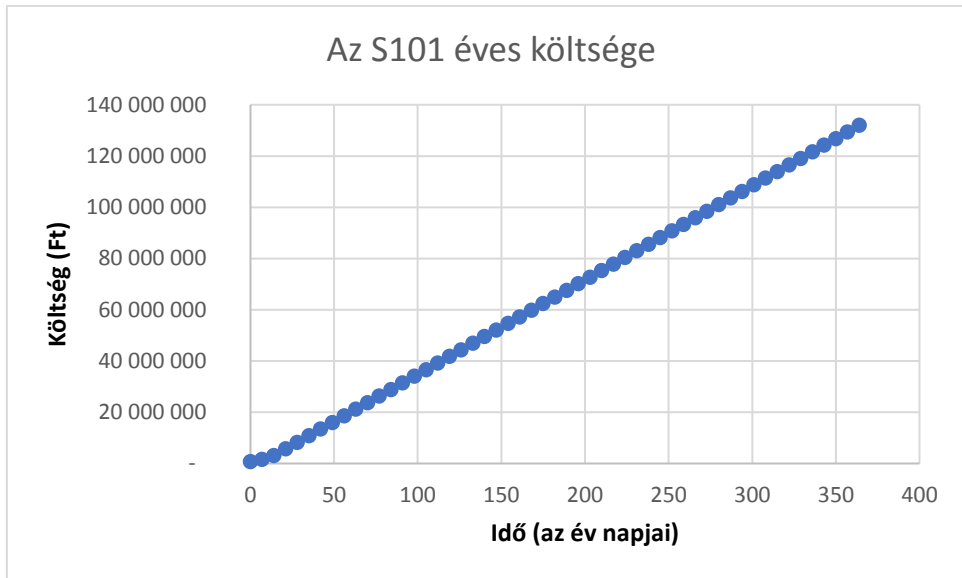
Első közelítésben a bemutatott példák 10 km-es távolsággal és tökéletes szelektivitással számolnak. A hulladékok mennyiségének és a folyamatok költségének összege a 48. táblázatban látható.

48. táblázat – Az S101 sémában keletkező hulladékmennyiség és kezelési hulladékáramai

Idő (év napja)	Mennyiségek (kg)			
	Összes hulladék	Fém értékesítés	Lerakás	RDF
0	117 150	-	-	-
////////				////////
329	117 150	44 000	3 955 600	1 155 000
336	117 150	45 000	4 045 500	1 181 250
343	117 150	46 000	4 135 400	1 207 500
350	117 150	47 000	4 225 300	1 233 750
357	117 150	48 000	4 315 200	1 260 000
364	117 150	49 000	4 405 100	1 286 250
Összesen	6 208 950	49 000	4 405 100	1 286 250

idő (év napja)	Költségek (Ft)					
	Begyűjtés	Fém-értékesítés	Lerakás	RDF értékesítés	Mechanikai kezelés	Összes költség
0	827 000	-	-	-	-	827 000
////////						////////
329	827 000	- 6 000	1 078 800	- 26 250	702 900	119 124 150
336	827 000	- 6 000	1 078 800	- 26 250	702 900	121 700 600
343	827 000	- 6 000	1 078 800	- 26 250	702 900	124 277 050
350	827 000	- 6 000	1 078 800	- 26 250	702 900	126 853 500
357	827 000	- 6 000	1 078 800	- 26 250	702 900	129 429 950
364	827 000	- 6 000	1 078 800	- 26 250	702 900	132 006 400
Összesen	43 861 000	-300 000	53 940 000	-1 312 500	35 847 900	132 006 400

Az elválasztási séma összes költségének (jelen egyszerű modellben időben egyenletes) változása a 11. ábrán látható.



11. ábra – Az S101 költségeinek időbeli akkumulációja

A S209 háztartási szelektív sémához tartozó folyamatmodell már egy életszerű begyűjtési rendszert mutat be: vegyes edénybe kerül a vegyes hulladék, az elkülönítetten gyűjtött hulladékok pedig külön edényből kerülnek begyűjtésre. Komposztálás a sémában nincs, az üveget szelektív szigeten gyűjtjük. A gyűjtési séma leírása a következő:

trans(y,s209,[haztartas],[a(kuka\_60\_1100,[vegyes,zold\_hazi,zold\_kerti]),a(gye\_sz\_60\_240,[papir,karton,tetra,pet,pe,egyeb\_ma,fe\_fem,nemfe\_fem]),a(gye\_szel\_sziget\_U,[uveg])),[],[]).

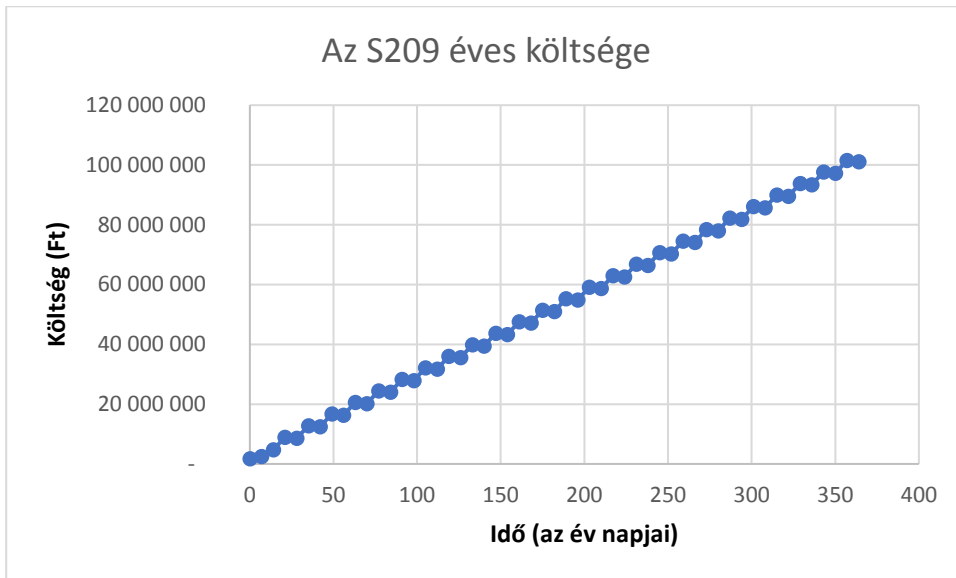
A 209-es séma állapot-változás elemekből képzett variációinak száma a modellben huszonnégy, mivel itt már belép a lokális gyűjtés és kezelés lehetősége is. A kiválasztott példában tömörítőgépes begyűjtés és központi kezelések történnek az alábbiak szerint:

[haztartas,s209,kuka\_60\_1100,gye\_sz\_60\_240,gye\_szel\_sziget\_U,tomoritos1,tomoritos5,darus14,mech\_kez,lok\_EK\_kevert,reg\_val\_mu\_U,val\_bal4,uveg\_halom,lok\_atcsom1,bigbag\_kevert,mk,fe\_fem\_halom,nemfe\_fem\_halom,d5,rdf,ml28,darus17,ml24,ml29,ml25,ml26,uveg\_ert,reg\_val\_mu,fe\_fem\_ert,nemfe\_fem\_ert,lerakas,rdf\_ert,val\_bal1,bala\_P\_vegyes,bala\_hullam,bala\_tetra,bala\_PET,bala\_PE,bala\_egyeb\_M,bala\_nfe\_fem,bala\_fe\_fem,val\_maradek,targ1,targ2,targ3,targ4,targ5,targ6,targ7,targ8,ml27,vegyes\_papir\_ert,hullam\_papir\_ert,tetra\_



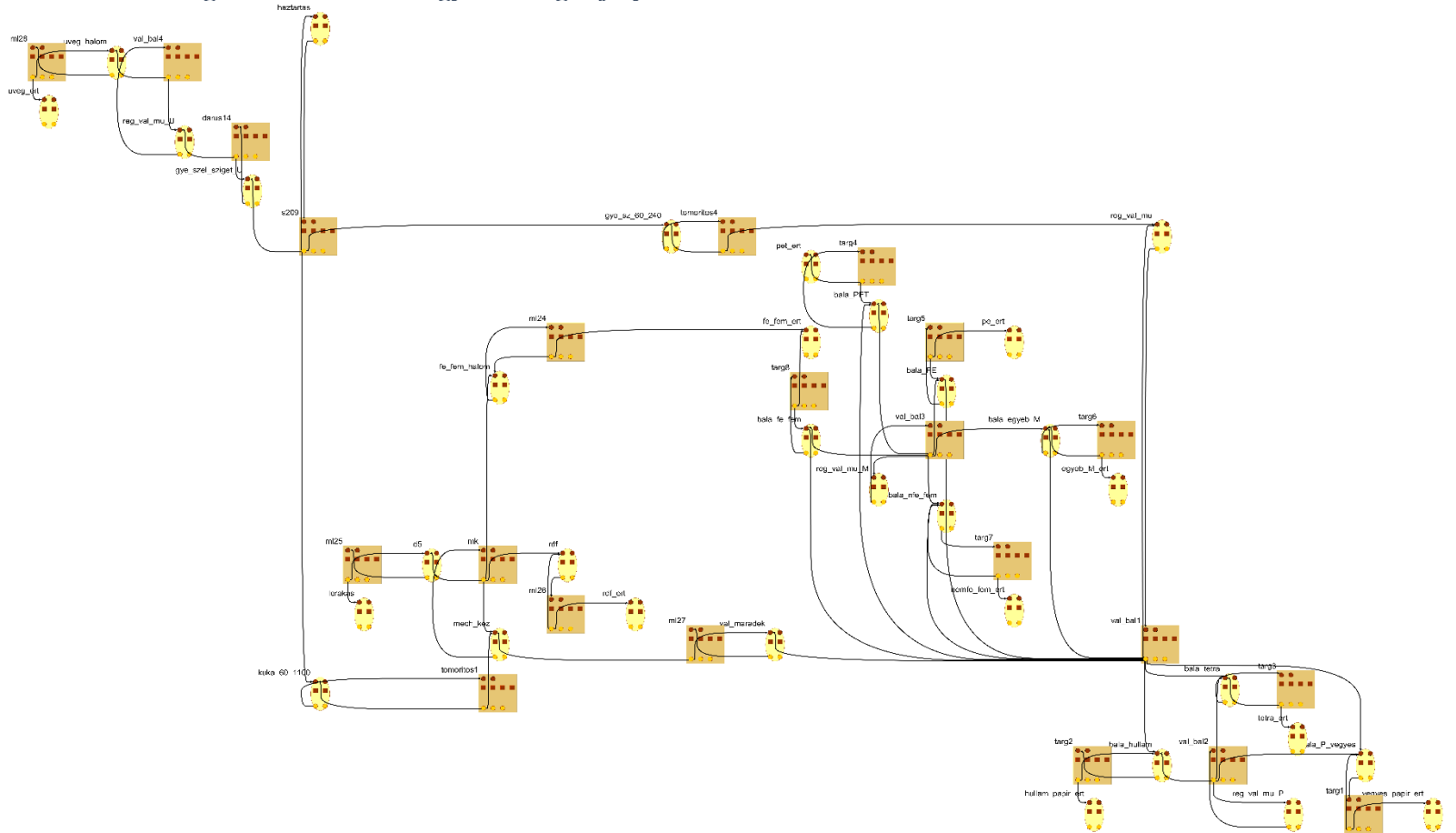
ert,pet\_ert,pe\_ert,egyeb\_M\_ert,nemfe\_fem\_ert,fe\_fem\_ert,mech\_kez,mk,fe\_fem\_halom,nemfe\_fem\_halom,d5,rdf,ml24,ml29,ml25,ml26,fe\_fem\_ert,nemfe\_fem\_ert,lerakas,rdf\_ert]

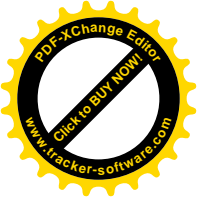
A példaként választott folyamat éves költségének alakulását a 12. ábrán ábrázoltuk. A mennyiségek a 49. táblázatban, a költségek az 50. táblázatban, a séma struktúrája a 13. ábrán láthatók.



12. ábra – Az S209 gyűjtési és elválasztási folyamat éves költségének ábrázolása

13. ábra – A vizsgált S209-es séma egy lehetséges folyamat hálózata





49. táblázat – Az S209 gyűjtési és elválasztási folyamat mennyiségei

Mennyiségek				
idő (év napja)	összes hulladék	vegyes hulladék	szelektív hulladék	lerakás
0	117 150	-	-	-
	~~~~~			
343	117 150	79 400	33 900	3 652 400
350	117 150	79 400	67 800	3 731 800
357	117 150	79 400	33 900	3 811 200
364	117 150	79 400	67 800	3 890 600
Összesen	6 208 950	4 128 800	2 644 200	3 890 600

50. táblázat – Az S209 gyűjtési és elválasztási folyamat éves költsége heti bontásban

idő (év napja)	Gyűjtés költsége (Ft)			Kezelés, ártalmatlanítás költsége (Ft)				Összes költség (Ft)
	Vegyes hulladék	Szelektív hulladék	Üveg	Lerakás	Mechanikai kezelés	Szelektív kezelés	Szelektív anyag értékesítés (Ft)	
~~~~~								~~~~~
350	803 000	851 000	63 424	952 800	476 400	-	- 3 557 540	97 241 064
357	803 000	nincs	nincs	952 800	476 400	2 034 000	-	101 507 264
364	803 000	851 000	63 424	952 800	476 400	-	- 3 557 540	101 096 348
Összesen	42 559 000	22 977 000	1 712 448	47 640 000	24 296 400	50 850 000	-88 938 500	101 096 348



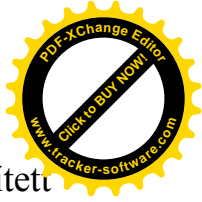
A 305-ös séma egy háromedényes rendszer, melyben a vegyes hulladék, és szelektíven a papír illetve a műanyag/fém külön-külön gyűjtőedénybe kerül, az ingatlantulajdonos a növényi eredetű zöldhulladékot házilag komposztálja, az üveget pedig szelektív szigeten helyezi el.

A háztartásnál alkalmazott kezdeti elválasztás kódja a következő:

```
trans(y,s305,[haztartas],[a(kuka_60_1100,[vegyes,zold_hazi]),a(gye_sz_60_240_P,[papir,karton,tetra]),a(gye_sz_60_240_M,[pet,pe,egyeb_ma_fe_fem,nemfe_fem]),a(hazi_komposztalo,[zold_kerti]),a(gye_szel_sziget_U,[uveg])),[],[]).
```

A modellben kidolgozott lehetséges variációk száma itt már háromszázhatvan, hiszen az edények számának növekedésével a lehetőségtér jelentősen nő. A bemutatott példa egy egyszerűbb folyamatot ábrázol (14. ábra), ahol szintén központi elválasztásokat és kezeléseket láthatunk. Az ehhez kapcsolódó folyamathálózat elemei a következők:

```
[haztartas,s305,kuka_60_1100,gye_sz_60_240_P,gye_sz_60_240_M,hazi_komposztalo,gye_szel_sziget_U,tomoritos1,tomoritos7,tomoritos11,komp4,darus14,mech_kez,reg_val_mu_P,lok_EK_M,hazi_komposzt,reg_val_mu_U,val_bal4,uveg_halom,lok_atcsom11,bigbag_M,val_bal2,bala_P_vegyes,bala_hullam,bala_tetra,mk,fe_fem_halom,nemfe_fem_halom,d5,rdf,ml28,darus22,targ1,targ2,targ3,ml24,ml29,ml25,ml26,uveg_ert,reg_val_mu_M,vegyes_papir_ert,hullam_papir_ert,tetra_ert,fe_fem_ert,nemfe_fem_ert,lerakas,rdf_ert,val_bal3,bala_PET,bala_PE,bala_egyeb_M,bala_nfe_fem,bala_fe_fem,targ4,targ5,targ6,targ7,targ8,pet_ert,pe_ert,egyeb_M_ert,nemfe_fem_ert,fe_fem_ert]
```

5.6 A megoldások automatikus generálása és egyszerűsített értékelése

Az előnyös (optimális) begyűjtési és elválasztási megoldások kiválasztása az összes lehetséges megoldás generálásával és egyszerűsített értékelésével is megoldható. A generálás ebben az esetben azt jelenti, hogy a lehetséges állapot és változás elemek (WNall.txt) ismeretében algoritmikusan előállítjuk az összes lehetséges egyedi modell kódját, majd ennek alapján elvileg megvalósítható az összes modell számítása. Az egyszerűsített értékelés esetében a számítási sebesség növelése és memória takarékoság céljából nem íratjuk ki a dinamikus szimuláció részletes eredményeit, hanem csak a szimuláció végén néhány (lényegében tetszőlegesen kiválasztható), kumulált jellemzőt (például a teljes költséget, a lerakás mennyiségét stb.). Természetesen az is megoldható, hogy utólag bármelyik kiválasztott variáns részletes számítási eredményét részletesen is kiírassuk az előzőek szerinti kódjából kiindulva (ez ugyanis jóval egyszerűbb, mit külön-külön generálni az egyes modelleket).

A megoldások automatikus generálását és egyszerűsített értékelését a kutatócsoport a következőképpen biztosította:

1. Egy ebből a célból készített algoritmus a lehetséges állapot és változás elemek változás-centrikus leírását tartalmazó WNall.txt állomány alapján automatikusan felépíti az összes lehetséges begyűjtési - elválasztási alternatíva kódját. Az egyes alternatívák leírása egy olyan lista, amely tartalmazza az adott alternatívákban szereplő összes állapot és változás elem nevét.

Ez esetünkben ez 588 475 megoldást jelent, amelyek felsorolása az elektronikus melléklet All.solutions.csv állományában található. Néhány példamegoldás a következő:

[haztartas,s134,kontener\_5,gye\_szel\_sziget\_P,gye\_szel\_sziget\_M,gye\_szel\_sziget\_U,kontener1,darus10,darus13,darus14,mech\_kez,kisters\_EK\_P,kisters\_EK\_M,reg\_val\_mu\_U,val\_ba14,uveg\_halom,lok\_atcsom26,bigbag\_M,lok\_atcsom21,bigbag\_P,mk.fe\_fem\_halom,nemfe\_fem\_halom,d5,rdf,ml28,darus22,darus18,ml24,ml29,ml25,ml26,uveg\_ert,reg\_val\_mu\_M,reg\_val\_mu\_P,fe\_fem\_ert,nemfe\_fem\_ert,lerakas,rdf\_ert,val\_bal2,bala\_P\_vegyes,bala\_hullam,bala\_tetra,val\_bal3,bala\_PET,bala\_PE,bala\_egyeb\_M,bala\_nfe\_fem,bala\_fe\_fem,targ1,targ2,t



irg3,targ4,targ5,targ6,targ7,targ8,vegyes\_papir\_ert,hullam\_papir\_ert,tetra\_ert,pet\_ert,pe\_ert,egyeb\_M\_ert,nemfe\_fem\_ert,fe\_fem\_ert]

[haztartas,s216,zsak,gye\_sz\_60\_240,zsak\_koteg,gye\_szel\_sziget\_U,kistehér9,tomoritos5,kistehér11,darus14,gyujtopont\_vegyes,lok\_EK\_kevert,komposztalo\_lok,reg\_val\_mu\_U,tomoritos31,lok\_atcsom1,komp2,val\_bal4,mech\_kez,a(bigbag\_kevert,[haztartas,papir,karton,tetra,pe t,pe,egyeb\_ma,fe\_fem,nemfe\_fem]),komposzt,a(uveg\_halom,[haztartas,uveg]),mk,fe\_fem\_halom,nemfe\_fem\_halom,d5,rdf,ml24,ml29,ml25,ml26,fe\_fem\_ert,nemfe\_fem\_ert,lerakas,rdf\_ert]

[haztartas,s309,kuka\_60\_1100,gye\_sz\_60\_240\_P,gye\_sz\_60\_240\_M,gye\_szel\_sziget\_U,tomoritos1,kistehér3,tomoritos11,darus14,mech\_kez,reg\_val\_mu\_P,lok\_EK\_M,reg\_val\_mu\_U, val\_bal4,uveg\_halom,lok\_atcsom11,bigbag\_M,val\_bal2,bala\_P\_vegyes,bala\_hullam,bala\_tetra,mk,fe\_fem\_halom,nemfe\_fem\_halom,d5,rdf,ml28,tomoritos41,targ1,targ2,targ3,ml24,ml29,ml25,ml26,uveg\_ert,reg\_val\_mu\_M,vegyes\_papir\_ert,hullam\_papir\_ert,tetra\_ert,fe\_fem\_ert,nemfe\_fem\_ert,lerakas,rdf\_ert,val\_bal3,bala\_PET,bala\_PE,bala\_egyeb\_M,bala\_nfe\_fem,bala\_fe\_fem,targ4,targ5,targ6,targ7,targ8,pet\_ert,pe\_ert,egyeb\_M\_ert,nemfe\_fem\_ert,fe\_fem\_ert]

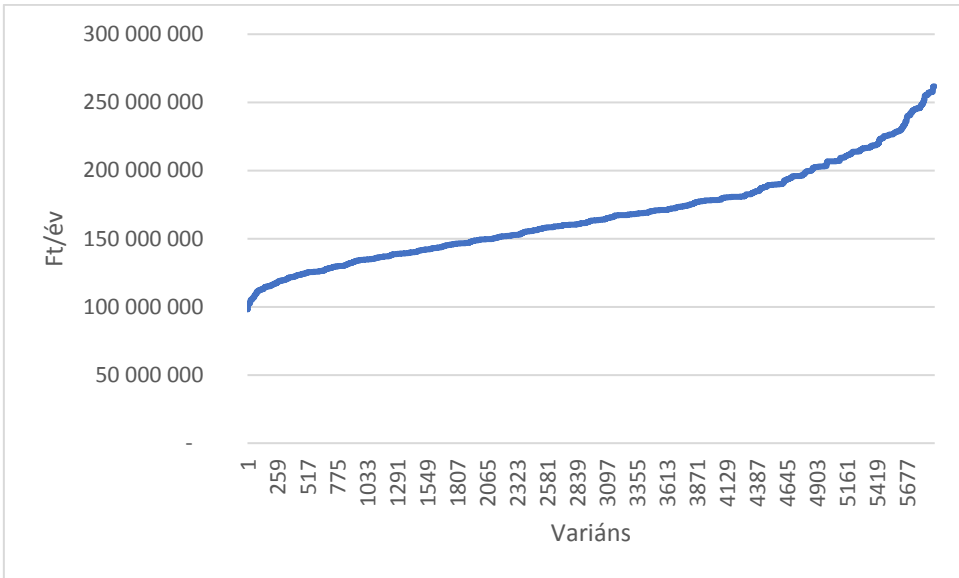
2. Az 5.4 és 5.5 fejezetben leírt módon generáljuk a teljes struktúra GraphML leírását, úgy, hogy az összes trans() elem YN státuszát y (yes) értékre állítjuk be. A prototípusok hozzáadása után generáljuk a futtatható Prolog modellt összes elemét, majd minden elem YN kódját n-re (no) állítjuk át. A prototípusokat felkészítjük az egyszerűsített értékelésre.

3. Az általános keretrendszer egy speciális opciója sorra veszi az összes 1. szerinti alternatívát, (vagy ennek egy tetszőlegesen kiválasztott részhalmazát) majd ciklikusan beolvassa a 2. szerinti modellt. Ezt követően az adott kód szerint szükséges elemek státuszát y-re állítja a program, a többi elemet pedig törli és elvégzi a szimulációt (egy variánsra egy átlagos gépen ez 0.5 - 1 perc). A szimuláció végén csak a variáns sorszámát, 1) szerinti kódját és az egyszerűsített eredmény értékeket írjuk ki. A megoldások az egyes értékelések alapján lexikografikusan rendezhetők, majd keresni lehet például azt az maximális elfogadási szintet, ami minden értékelésre biztosítható.

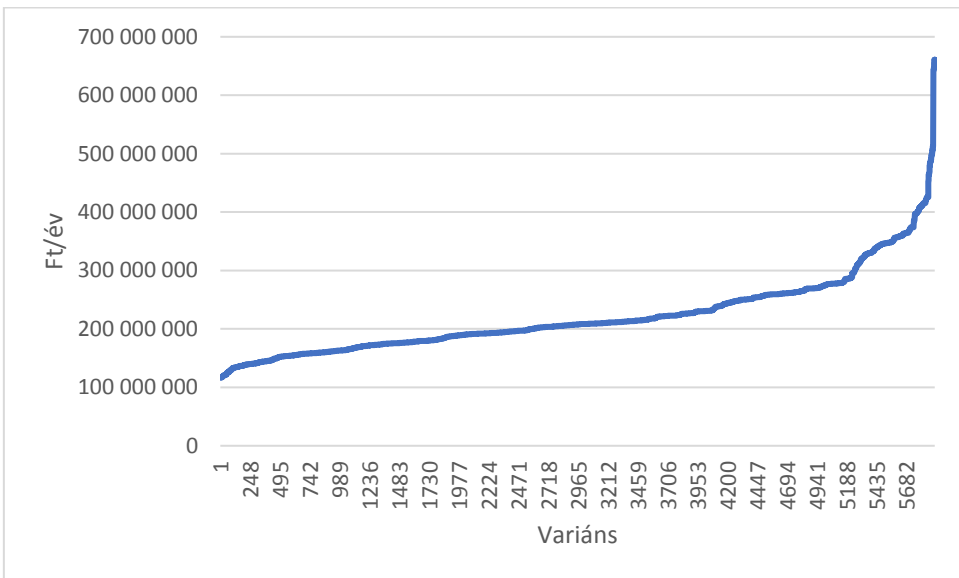
A módszer alkalmazását 5 917 kiválasztott begyűjtési - elválasztási rendszer számítási eredményeivel illusztrálom.

A 15. és 16. ábrákon a növekvő költség szerinti rendezett költség értékek láthatók a regionális központtól számított 10 és 50 km-es szállítási távolság esetére. A 17. ábra pedig a (10 km szerint rendezett) azonos variánsok költsége látható 10 és 50 km-es távolság esetén.

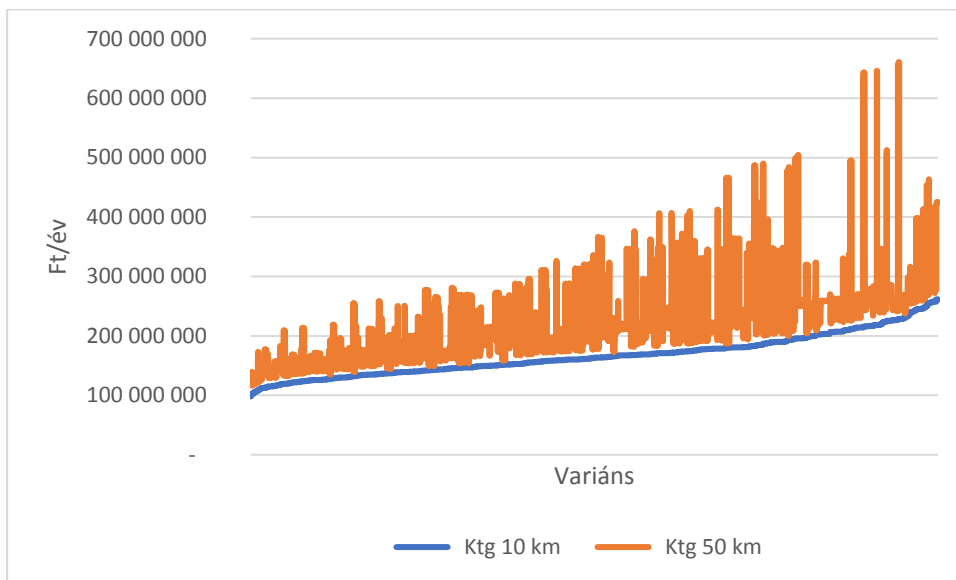
15. ábra - A költség szerint rendezett megoldások 10 km távolság esetén



16. ábra - A költség szerint rendezett megoldások 50 km távolság esetén



17. ábra - Az 50 km-es távolság költsége a 10 km-es távolság esetére költség szerint rendezett megoldások függvényében



A szimuláció alapján a 10 és 50 km-es távolság hatása ugyanazon variánsra a következőképpen mutatkozik meg:

- a legkisebb különbség a költségekben 103%
- a legnagyobb különbség a költségekben 299%
- az átlagos különbség 132%, 28%-os szórással.

A szimuláció eredményeiből kiválasztottam a legkisebb költségű 500, az eredmények középmezőnyébe kerülő 500 és a legnagyobb költségű 500 variánst. Az ezekben a csoportokban előforduló állapot és változás elemek elemzése alapján a következő megállapításokat tettem:

A komplex kezelőhöz közeli gyűjtési körzetben (10 km) a lokális kezelési megoldások 81%-a a legolcsóbb variánsok között jelenik meg, míg a drága csoportban egyszer sem. A kistérségi megoldások ebben az esetben drágítják a szolgáltatást, ami a kistérségi előkezelő standard 15 km-es távolsága miatt nem meglepő.

A vegyes hulladék begyűjtését legolcsóbban egyértelműen a 30 m<sup>3</sup>-es konténer alkalmazásával lehet elvégezni, a legdrágább pedig az 5 m<sup>3</sup>-es konténer alkalmazása.

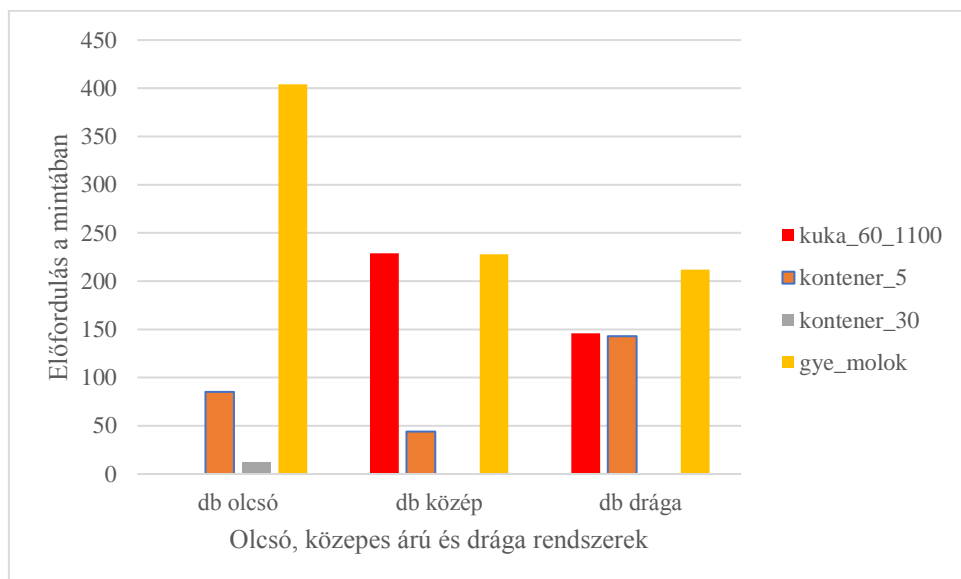
Az üveg begyűjtésére a darus megoldás költséghatékonyabb, mint a tömörítő jármű használata. A darus jármű 48%-ban a legolcsóbb 500 variáns csoportjában jelenik meg.

A kisteher és alternatív szállítóeszközök alkalmazása ilyen távolságban nem egyértelműen hatékony, azonban ennek ellenkezője sem állítható biztosan.

A biohulladék gyűjtése csökkenti a rendszer költségét, azonban az figyelemreméltó, hogy még ebben a kis távolságban is milyen jelentősen hozzájárul ehhez a lokális komposztáló üzemeltetése (73%-a legolcsóbb csoportban jelenik meg).

A vegyes hulladék begyűjtésére szolgáló edények megoszlását mutatja meg az 51. táblázat.

51. táblázat – A vegyes hulladékot gyűjtő edények megoszlása a különböző költségcsoportokban 10 km-es távolság esetén



Az 50 km-es távolságban elhelyezkedő szolgáltatási területnél a következő összefüggések ismerhetők fel:

A tömörítő járművel történő vegyes hulladék szállítás szinte kivétel nélkül a közepesen drága csoportban bukkan fel, míg a konténeres csak a legdrágább 500 variánsnál mutatkozik.

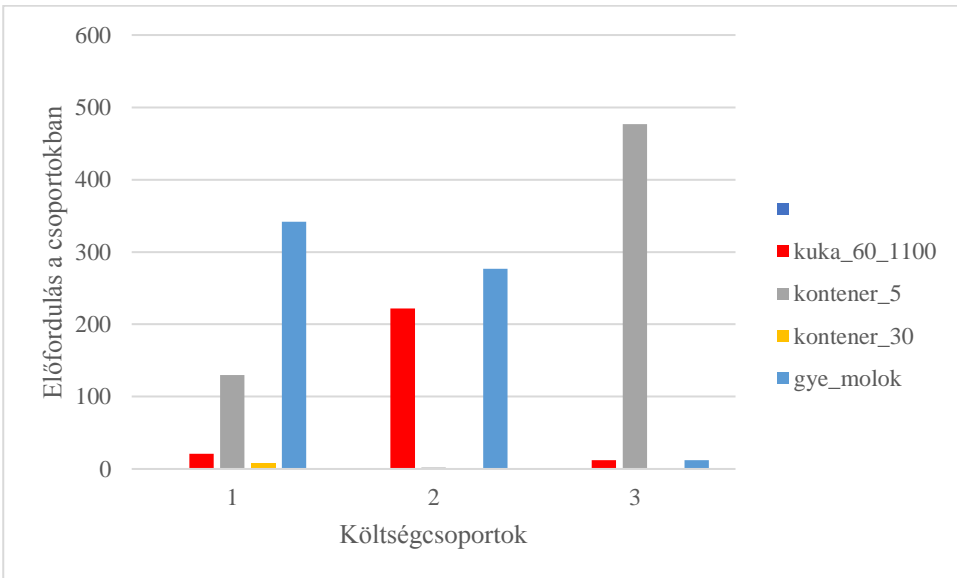
Ebben a távolságban is a darus szállítás a legkedvezőbb költségű az üveghulladék gyűjtésére.

A kisteherjármű használata kedvezőnek bizonyul, csaknem kétharmada a legolcsóbb, negyede pedig a közepesen drága csoportba került.

Nem ilyen kedvező az alternatív jármű használata, amely nagyjából egyenletesen jelenik meg a három csoportban. Itt a lokális előkezelő megoldásoknál jóval kedvezőbb az eredmény, míg a 15 km-re fekvő kistérségi előkezelő létesítmény már távolinak és költségesnek mutatkozik. Ebben a távolságban a lokális komposztálás egyértelműen költségcsökkentő (81% a kedvező költségű csoportban), és még a kistérségi komposztálás is kedvezőnek látszik (59,2% az olcsó, 40,8% a közepes árú csoportban).

A vegyes hulladékgyűjtő edények megoszlását az 52. táblázat mutatja be.

52. táblázat - A vegyes hulladékot gyűjtő edények megoszlása a különböző költségcsoportokban 50 km-es távolság esetén





6. Következtetések és javaslatok

6.1 A szakirodalom tanulmányozása alapján levont következtetések és javaslatok

- A szakirodalom alaposan vizsgálja a hulladékgazdálkodási szolgáltatók tulajdonosi viszonyait. Bár eltérő álláspont is fellelhető, a köztulajdonban álló szervezetek teljesítőképessége erősen bizonyított. A mai magyar viszonyok között a köztulajdonlás mellett előírás a nonprofit forma. Ez a két köztulajdonlás mellett előírás a környezet védelmét biztosító hosszútávon előnyös tevékenység végzését.
- Az uniós előírásokat (itt a hasznosítási célokra gondolok elsősorban) a hazai jogszabályi rendszer teljesen tükrözi. Lényeges azonban, hogy a már ismert körkörös gazdaság csomag előírásai időben átültetésre kerüljenek a hazai jogrendbe és a gyakorlatba. A 2020-tól érvényes hasznosítási arányok jelentősen meghaladják a most érvényben lévőket (gyakorlatilag megduplázzák azt). E szint teljesítése még aktív szakpolitikai irányítás mellett is igencsak kétséges. A szakirányításnak már most meg kell kezdeni a hazai készítésű stratégiai dokumentumok és éves tervek kidolgozását, hogy az egyéb szereplők időben megkezdhesék a felkészülést.
- Az eddigi tapasztalatok alapján megállapítható, hogy az uniós előírások a célértékek kitűzésén kívül az alkalmazott eljárásokat viszonylag szabadon engedik meghatározni, azonban a magyar jogszabályok ezeknél jóval konkrétabb és szigorúbb kötelezettségeket fogalmaznak meg (néha feleslegesen).
- A hulladékgazdálkodási rendszerek működésének vizsgálata és az optimalizálásra való törekvés sok cikkben megjelenik. Általános azonban, hogy a kutatás fókuszja nem a teljes tevékenységre, hanem csak egy kiválasztott szűk területre korlátozódik. Ha összesítjük a rendelkezésre álló tudáselemeket, kimondható, hogy a felépítő rendszer elemek megfelelő mélységben tanulmányozottak, ám jelentős részük erősen esetfüggő. Olyan irodalom több található, amely a



közszolgáltatói tevékenységet (ami általában a gyűjtés és az előkezelés) a felépítő rendszerelemek elemzésével, értékelésével tanulmányozza. Szcenáriók kidolgozása azonban már csak elvétve fordul elő, és ezek is csak egyszámjegyű lehetőséget vizsgálnak.

- A begyűjtési tevékenység elemzéseiben nem igazán jelennek meg a városi és vidéki járatok jelentősen eltérő település-karakterisztikából fakadó különbségei. Azok a források, amelyek e kettő típus között különbséget tesznek, hangsúlyosan figyelmeztetnek az erőteljes eltérésekre<sup>19</sup>. A vidéki területeknél megjelenő átlagszámok azonban nem mutatják meg az egyes települések központi kezelőtől való távolságának jelentős eltéréseit (egy vidéki település 10 és 80 km-re is lehet a központi művektől).
- A szolgáltatási körzetek azonosítása után kerülhet csak sor a szolgáltatás költségeinek vizsgálatára. Konkrét területek költségadatai jelentős számban megtalálhatóak, azonban ezek összetétele, a tevékenységi elemek fajlagos költségei, a futott kilométerek és az alkalmazott járművek nem azonosíthatóak könnyen. A gyűjtés költségeinek meghatározására egyébként több tanulmány is javasol módszereket. Ezek tanulmányozása során szembetűnő, hogy az általános módszereken kívül (benchmark, fajlagos költségszámítás stb.) csekély számban vannak speciálisan hulladékos felfogású módszerek is. Ezek alkalmazása azonban nem mondható elterjedtnek.
- A hulladékkezelés irodalmát tanulmányozva látszik, hogy a szerzők alapvetően a regionális méreteket elemzik, néhány esetben található utalás a kisebb léptékű kezelési eljárások hasznára. Az általam alaposan megvizsgált lokális kezelés csak javaslat szintjén jelenik meg, és mivel a gyakorlatban nem alkalmazott, így a működő rendszerek elemzésével foglalkozó tanulmányokban sem jelenik meg.

<sup>19</sup> A mai magyar közszolgáltatás finanszírozási rendszere névleg elismeri ugyan (a népsűrűség figyelembevételével) ezt, ennek azonban forintban számszerűsített eredménye gyakorlatilag elhanyagolható.



6.2 A modellkészítést megalapozó, rendszerező gondolkodás alapján levont következtetések és javaslatok

- A dolgozat írása során jelentős nehézséget okozott, hogy a Magyar Szabvány szerinti és az egyéb dokumentumokban felsorolt hulladékfajták nincsenek összhangban, egymást átfedő felosztások léteznek, amelyek egyike sem tekinthető (teljes és diszjunkt) ekvivalencia-osztályozásnak. Ez nem csak hazai probléma, hiszen az EU évek óta próbálja megfogalmazni pl. a települési hulladék megfelelő definícióját. A nem szabványos nevezéktan és az ekvivalencia-osztályozás hiánya a jelenlegi és jövőbeli visszagyűjtési célok meghatározásánál egyre nagyobb problémát jelent. Szerencsére a körkörös gazdasági célszámok egyszerűsítik a helyzetet, mivel nem a kiemelt hulladékáramok bizonyos részét, hanem a települési hulladék egészének adott százalékára vonatkozóan fogalmazznak meg újrahasznosítási célokat. A kitűzött impozáns arányok elérése azonban óriási feladat lesz számunkra, mivel a (modellben is számolt), újrahasznosításra alkalmas hulladékáramok 91%-át szelektíven kellene gyűjteni.
- A célérték költséghatékony teljesítése csak úgy képzelhető el, ha a területi tervezés során az alapértékek (lakosok száma, hulladékmennyiség) meghatározásánál a legprecízebb tényadatokat tudjuk felhasználni. Ha az adott területen tisztában vagyunk a keletkezett hulladék mennyiségével és összetételével, akkor ez ezekből meghatározott konkrét visszagyűjtési célszámokat az adott területre kell meghatározni. A mennyiség és összetétel meghatározásánál figyelembe kell venni, hogy mindkét jellemző jelentősen változik egy éven belül is, így a mintavételek időpontját körültekintően kell kitűzni.
- A jelenlegi, az ország egészére egységes visszagyűjtési előírás (20 kg/fő/év) nem alkalmazható, hiszen egy vidéki térség 200 kg/fő/év hulladéktermeléséből a fenti standard mennyiséget kigazdálkodni jóval nagyobb feladat, mint egy nagyváros többszörös fajlagos hulladéktermeléséből. Itt vissza kell utalnom arra, hogy a jelenlegi elvárás még a fenti példa (231 kg/fő/év) esetében is csak 10%-os visszagyűjtési



arány, ami igencsak elmarad a 2020-as ~25%-os céltól, a 2025-ös 50%-tól pedig óriási távolságban van.

- A kitűzött teljesítési célok terén a felelősség kérdését rendezni kell. Jelenleg a közszolgáltató a teljesítés felelőse, olyannyira, hogy finanszírozása is jelentős mértékben ettől függ. Amíg azonban a közszolgáltatás megszervezése, és annak tartalmának meghatározása az önkormányzat feladata, addig a szelektív teljesítmény számonkérését a közszolgáltatóra hárítani nem racionális. Megjegyzem, hogy a jó gyakorlatok helyi szintű terjesztésével az önkormányzatok, ritka kivételtől eltekintve, nem foglalkoznak. Egy jól működő rendszer megköveteli a helyi önkormányzat felelősségének konkrét megállapítását.
- A házhoz menő gyűjtés mellett meg kell fontolni a gyűjtőpontos elemek legális használatát (megfelelő teljesítmény elérésének kötelezettsége mellett). Ez az eszközrendszer is képes jó teljesítményre, ugyanakkor üzemeltetése alacsonyabb költségű.
- A lokális begyűjtők és előkezelők engedélyezési eljárásait egyszerűsíteni szükséges. A megfelelő szakmaiság biztosítása érdekében ezek a szereplők a közszolgáltató alvállalkozójaként tudnák tevékenységüket végezni. Ezzel biztosítható az, hogy a köztes tevékenységek munkavégzése, kimenő anyagáramai, minősége a regionális mű számára megfelelő legyen.
- A biológiai lebomló hulladék, annak magas tömegaránya és a helyben történő kezelés lehetősége miatt kiemelt figyelmet érdemel. A körkörös célkitűzések csak akkor érhetőek el, ha a zöldhulladékot teljes egészében hasznosítani tudjuk. Lényeges továbbá, a hasznosítást jórészt a természet végzi, valamint az, hogy a keletkezett haszonanyag (komposzt) felhasználása helyben megtörténhet.
- Az ingatlanhasználó számára a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás igénybevétele kötelező. A fizetési kötelezettsége pedig akkor is fennáll, ha a hulladékgyűjtő edényét nem is helyezte ki ingatlana elé. Némi indokoltság található a tavalyi évben módosított kötelező gyűjtési gyakoriság téli csökkentésében, azonban ez a változtatás több szempontból is problémát okoz. A téli/nyári járattervek szükségessége ugyanis nehezíti a szolgáltatást végző társaságok munkáját. Mind gépi, mind emberi



erőforrásait hozzá kell igazítani a félévente változó igényekhez. Finanszírozásának alapját a szerződött vegyes hulladék mennyisége adja. Amennyiben ez télen megfeleződik, az megoldhatatlan pénzügyi problémát fog számára jelenteni. Egyébként az ingatlantulajdonosnak is nehézséget okozhat az átállás. Nyári vegyes hulladék mennyisége télen sem csökken jelentősen, amennyiben intelligens szinten használja komposztálóját és szelektív edényét. Ezért az ingatlan tulajdonosnak a téli időszakra dupla méretű kukát kellene beszerezni. Ha ez nem történik meg, (ami valószínűleg nem fog megtörténni), akkor alternatív megoldásokat kell választania hulladéka "eltüntetésére". Kétségtelen előny számára, hogy évente pár ezer forintot megtakarít. Tovább bonyolítja a dolgot, hogy a vegyes hulladék mindig tartalmaz biológiailag bomló összetevőket (pl. higiéniai hulladék, ételmaradékkal szennyezett csomagolóanyag stb.), így a gyűjtési frekvencia csökkentése településszinten jogosan megkérdőjelezhető.

6.3 A folyamatmodell kipróbálása alapján levont következtetések és javaslatok

- A rendszer fenntarthatósága szempontjából kiemelt fontosságú a másodnyersanyagok felvásárlási ára (és így a másodnyersanyagot felhasználó gyártók tényleges hozzájárulása a költségekhez).
- Területenként, illetve közszolgáltatónként kellene elvégezni a hulladékösszetétel vizsgálatokat, és figyelembe kellene venni a szezonalitást is.
- A működés költségeit minden szolgáltatónál külön célszerű vizsgálni, mert eltérő költségstruktúrák és -adottságok vannak.
- A településenkénti gyűjtési távolságot precízebben kell kidolgozni.
- A modell használata lehetőséget ad a lakossági hulladékdíj meghatározására is.
- Kijelenthető, hogy nincs egyetlen globális optimum, a területi optimumokat az adott szolgáltató költségei, az ingatlantulajdonosok hulladéktermelési szokásai és a másodnyersanyag-árak határozzák



meg. A szelektív anyag értékesítési árai azonban jelentősen változnak, ezért a rendszerek tervezésekor csak az átlagárral lehet számolni, ami nehezíti a hosszú távú tervezést.

- Az egyes megoldások éves költsége között többszörös különbségek vannak. Modellünkben a 10 km-es verzióban a legolcsóbb és a legdrágább variáns közti különbség 267%, az 50 km-es számításnál 315%.
- A távolság növekedésével a kisebb távolságoknál kedvező gyűjtési variánsok aránytalanul megdrágulhatnak, így egy szolgáltatási területen belül is több, egymástól különböző gyűjtési megoldás bevezetése lehet indokolt.
- A helyi komposztálási lehetőségek jelentősen csökkentik a rendszer összköltségét.
- Az edények típusa alapvetően meghatározza a gyűjtés költségeit.
- Összességében megállapítható, hogy egy konkrét terület precízen meghatározott paramétereinek ismeretében a modell jól használható módon segíti a különböző variánsok kidolgozását, valamint a hulladékmennyiségek és a költségek, illetve árbevételek előrejelzését.



7. Új illetve újszerű tudományos eredmények

1. Tényadatok alapján tipikus lakossági hulladék mennyiséget és összetételt határoztam meg, és ebből kiindulva szisztematikusan rendszereztem a lehetséges lakossági, lokális, kistérségi és regionális elválasztásokat, az őket összekapcsoló lehetséges szállításokat, valamint a kinyerhető újrahasznosítható szelektált anyagokat és a lerakással ártalmatlanítandó hulladékot leíró építőelemeket.
2. A rendszerezés alapján, a Programozható Struktúrák módszerét alkalmazva, témavezetőm és munkatársai segítségével generáltam az elvileg lehetséges valamennyi begyűjtési és elválasztási sémát tartalmazó folyamat hálózatot. Összegyűjtöttem az építő elemek szimulációhoz és értékeléshez szükséges adatait és kidolgoztam az értékelést biztosító összefüggéseket. A módszer az alternatív megoldásokhoz tartozó összekapcsolható elemek kiválasztásával lehetővé teszi az egyes begyűjtési és elválasztási folyamatok dinamikus szimulációs modelljének generálását, számítását és értékelését.
3. Példamegoldások részletes szimulációja alapján megállapítottam, hogy a modellezési módszer alkalmazható a begyűjtési és elválasztási hálózatok szimulációjára és adott szempontok (pl. költség, lerakott mennyiség) szerinti értékelésére.
4. A Programozható Struktúrák módszerét alkalmazva, témavezetőm és munkatársai segítségével algoritmust készítettünk az összes begyűjtési és elválasztási variánsok kódjának (azaz az aktuálisan összekapcsolható elemek halmazának) automatikus meghatározására.
5. A lehetséges megoldások egy kiválasztott részhalmazának szimulációja és egyszerűsített összefoglaló értékelése alapján megállapítottam, hogy a módszer jól alkalmazható a különféle paraméterek és költségtényezők hatásának elemzésére, valamint ennek alapján a kapcsolódó döntések támogatására. A modell továbbfejlesztése lehetővé teszi a tipikus gyűjtési területek specifikumait figyelembe véve a nagyszámú (sok esetben még sosem átgondolt, de perspektivikus) megoldás folyamatmodell alapú vizsgálatát.



8. Összefoglalás

Dolgozatom irodalmi összefoglalójában áttekintettem a hulladékgazdálkodás tervezésének és irányításának európai és magyar előzményeit, különös tekintettel az anyagában történő hasznosítás céljainak fejlődésére. Megállapítottam, hogy a körkörös gazdaság csomag nagy növekedést jelent a visszagyűjtendő mennyiségek tekintetében. A magyar hulladékgazdálkodási közszolgáltatási rendszer az elmúlt évtizedekben jelentős fejlődésen ment keresztül, ám az új célok teljesítése még további, jelentős erőfeszítéseket kíván.

A hulladékgazdálkodási rendszerek tanulmányozása során megállapítottam, hogy célszerű szisztematikusan áttekinteni a begyűjtés és feldolgozás összes lehetséges elemét és belőlük kialakítható begyűjtési és elválasztásai megoldásokat, függetlenül attól, hogy jelenleg használatosak és/vagy engedélyezettek-e.

Ennek alapján rendszerezetten összegyűjtöttem a racionálisan elképzelhető háztartási gyűjtési formákat és elsődleges elválasztási lehetőségeket. A számítások kiindulási alapjául meghatároztam egy 10 000 háztartást magában foglaló tipikus vidéki térség lakossági hulladékának jellemző mennyiségét és összetételét. Feldolgoztam a kapcsolódó szállítások lehetséges formáit és a hulladékkezelési lehetőségeket. Kidolgoztam a lokális, kistérségi és regionális begyűjtés lehetőségeit, valamint a lokális, kistérségi és regionális kezelés formáit. A rendszerezett tevékenységekhez költségeket rendeltem, és a gyűjtés költségeinek egyszerűsített számítására egy új módszert dolgoztam ki.

Végül a rendszerezés alapján témavezetőm és munkatársai segítségével a folyamathálózat modell lehetséges elemeit implementáltam a Programozható Struktúrák módszerét alkalmazó egységes folyamatmodellezési keretbe. Elkészítettem a folyamathálózat elemeinek formális definícióját, valamint az elemekhez rendelhető paraméterek és költségek leírását. Ezek alapján a Programozható Struktúrák módszerével generáltuk a lehetséges folyamathálózatok teljes modelljét. Ezt kiegészítettük az elválasztásokat és szállításokat számító lokális program prototípusokkal.



A módszert először egyedi modellek generálására és szimulációjára próbáltam ki. Ennek során tanulmányoztam néhány egyszerűbb tipikus megoldást, annak anyagmértékét és éves működési költségét.

Ezt követően a teljes folyamathálózatot definiáló állományból kiindulva generáltuk az összes lehetséges begyűjtési és elválasztási megoldás kódját, valamint kialakítottunk egy egyszerűsített szimulációs megoldást, amely egy vagy több jellemző éves szintű értékelését számítva lehetővé teszi akár az összes megoldás (vagy azok egy célszerűen választott részhalmazának) elemzését. Első közelítésben az 588 475 alternatív megoldásból 5 917 kiválasztott alternatívát tanulmányoztam. Esettanulmányokkal vizsgáltam néhány jellemző paraméter (pl. a regionális központ és a begyűjtési térség közötti távolság) hatását a költségekre, illetve ezen keresztül a gazdaságos megoldások sorrendjére.

Megállapítottam, hogy a kiindulási és költség adatok, valamint a modell további pontosítása után, a tipikus gyűjtési területek specifikumait figyelembe véve érdemes részletesen folytatni a nagyszámú (sok esetben még sosem átgondolt, de perspektivikus) megoldás folyamatmodell alapú vizsgálatát. A további vizsgálatokat célszerű kiterjeszteni az elválasztások hatásfokának és tisztaságának részletes elemzésére, valamint a szezonális hatások dinamikus követésére.

Az eddigi tapasztalatokat összefoglalva megállapítható, hogy a hulladék begyűjtési és elválasztási alternatívák folyamatmodellezéssel támogatott elemzése perspektivikus megoldás. Figyelembe véve a szigorodó célkitűzések egyre sürgetőbb teljesítését, mindenképpen célszerű a kutatások folytatása.



9. Summary

In my dissertation I have reviewed the evolution of European and Hungarian waste management, focusing on the changing objectives of material recycling. I have found that the circular economy package is a big boost for the quantities that have to be recycled. The Hungarian waste management public service system has gone through significant progress over the last decades, but meeting the new goals requires tremendous additional efforts.

During the study of waste management systems, I have found that it is worth to overreview systematically all the possible elements of waste collection and waste processing, regardless of whether they are currently used and / or licensed or not.

Based on this motivation, I collected systematically the conceivable household collecting forms and the primary separation possibilities. As a starting point for calculations, I defined the typical quantity and composition of the residential waste of a typical rural area comprising 10,000 households. I worked out the possible forms of transporting and waste treatment options. I have elaborated the possibilities of waste collection and treatment for local, micro-regional and regional scale. I associated cost coefficients with all activities, as well as developed a new method for the simplified calculation of collection and selection costs.

Finally, based on the systematization, with the help of my supervisor and colleagues I implemented the possible elements of the process network model in the process modeling framework of Programmable Structures. I have prepared the formal definition of the elements of the process network and determined the parameters and cost coefficients that characterize them. Based on these input data, the model of the possible process networks was generated, using the methodology of Programmable Structures. The model was supplemented with local program prototypes, which calculate the separations and transportations.

The method was tried to generate and to simulate individual test models, while I studied some of the simpler typical solutions, evaluated by the material balance and by the annual operating cost.



Next, the codes of the possible variants of collections and separations were generated, making possible the simplified simulation-based evaluation of any subset or of all possible solutions. This allows to evaluate one or more features at annual level for the analysis. In the first test, I studied 5 917 alternatives from the 588 475. The case studies examined the effect of some characteristic parameters (e.g. the distance between the regional center and the collection area) on the cost and on the rate of selection.

I have concluded that after the further refinement of the model parameters and cost coefficients, as well as taking into account the specificity of the typical collection areas, it is worth to continue the process model-based analysis of the possible solutions. Further studies should be extended to the detailed analysis of the efficiency and purity of the separations, as well as to the dynamic tracking of the seasonal effects.

In summary, it can be concluded that the analysis of waste collection and separation alternatives, supported by process modeling, is a perspective approach. Considering the urgent fulfillment of more and more strict and rigorous objectives, it is advisable to continue this research.



10. Irodalomjegyzék

- 13/2016. NFM rendelet. (2016). A Koordináló szerv által fizetendő hulladékgazdálkodási szolgáltatási díjról.
1990. évi LXC törvény az önkormányzatokról. (1990.).
1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól. (1995).
2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról. (2012.).
- 385/2014. Kormányrendelet a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás végzésének feltételeiről. (2014).
- 69/2016. Kormányrendelet. (2016). Az állami hulladékgazdálkodási közfeladat ellátására létrehozott szervezet kijelöléséről, feladatköréről, az adatkezelés módjáról, valamint az adatszolgáltatási kötelezettségek részletes szabályairól.
- Állandó Képviselők Bizottsága. (2016). *Feljegyzés a Tanácsnak 15375/16.*
- Alvarez, J. L., Larrucea, M. A., Santandreu, F. S., & de Fuentes, A. F. (2009). Containerisation of the selective collection of light packaging waste material: The case of small cities in advanced economies. *Cities* 26, 339-348.
- Apaydin, O., & Gonullu, M. T. (2007). Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study. *Global Nest Journal Vol. 9*, 6-11.
- Apaydin, O., & Gonullu, T. M. (2008). Emission control with route optimization in solid waste collection process: A case study. *Sadhana Vol. 33*, 71-82.
- Arator Környezetvédelmi Kft. (2016). *Szent Jakab Központ - Integrált Falusi Hulladék-begyűjtő Lovas Központ. Részletes Tanulmány.*
- Arena, U., & Di Gregorio, F. (2014). A waste management planning based on substance flow analysis. *Resources, Conservation and Recycling* 85, 54-66.
- Aulakh, S., & Thorpe, L. (2011). *From waste management to resource recovery: A developing sector.* UK, Sheffield: Ekogen.



- Azi, N., Gendreau, M., & Potvin, J.-Y. (2010). An exact algorithm for a vehicle routing problem with time windows and multiple use of vehicles. *European Journal of Operational Research* 202, 756-763.
- Ballabás, G., & Munkácsy, B. (2008). Tervezési javaslatok Komárom-Esztergom megye települési szilárd hulladékokkal való gazdálkodásának stratégiájához. In *IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia II. kötet*. Debrecen.
- Barabási, A.-L. (2013). *Behálózva - A hálózatok új tudománya*. Budapest: Helikon Kiadó.
- Beigl, P., & Salhofer, S. (2004). Comparison of ecological effects and costs of communal waste management systems. *Resources, Conservation and Recycling* 41, 83-102.
- Bel, G., & Mur, M. (2009). Intermunicipal cooperation, privatization and waste management costs: Evidence from rural municipalities. *Waste Management* 29, 2772-2778.
- Benke, S. (2012). Települési szilárdhulladék-gazdálkodási rendszer fejlesztése Turán és térségében. *A települési hulladékgazdálkodás válsága*. Alapvető Jogok Biztosának Hivatala.
- Bizottság COM (2016) 739 final. (2016). *A Bizottság közleménye - A következő lépések Európa fenntartható jövőjéért - Európai fellépés a fenntarthatóságért*.
- Bizottság COM(2005) 666 végleges közleménye. (2005.). *Az erőforrások fenntartható felhasználásának előtérbe helyezése: a hulladékkeletkezés megelőzésére és a hulladékok újrafeldolgozására irányuló tematikus stratégia*.
- Bizottság SWD (2017) 46 final. (2017). *Bizottsági Szolgálati Munkadokumentum - környezetvédelmi politikák végrehajtásának uniós felülvizsgálata - Országjelentés – Magyarország*.
- Boer, E. D., Jedrczak, A., Kowalski, Z., Kulczycka, J., & Szpadt, R. (2010). A review of municipal solid waste composition and quantities in Poland. *Waste Management* 30, old.: 369-377.



- Bogh, M. B., Mikkelsen, H., & Wohlk, S. (2014). Collection of recyclables from cubes e A case study. *Socio-Economic Planning Sciences* 48, 127-134.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (2017.. augusztus 8.). *Hintergrund: Entwicklung der Abfallpolitik in Deutschland*. Forrás: Abfallpolitik: www.bmub.bund.de/P585/
- Bundesregierung. (1991). Verordnung über die Vermeidung von Verpackungsabfällen.
- Bundesregierung. (1996). Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen.
- Burnley, S. J. (2007). A review of municipal solid waste composition in the United Kingdom . *Waste Management* 27, 1274-1285.
- Burnley, S. J., Ellis, J. C., Flowerdew, R., Poll, A. J., & Prosser, H. (2007). Assessing the composition of municipal solid waste in Wales. *Resources, Conservation and Recycling* 49, old.: 264-283.
- Calabró, P. S. (2009). Greenhouse gases emission from municipal waste management: The role of separate collection. *Waste Management* 29, 2178-2187.
- Carvalho, P., & Marques, R. C. (2014). Economies of size and density in municipal solid waste recycling in Portugal. *Waste Management* 34, 12-20.
- Cimpan, C., Maul, A., Jansen, M., Pretz, T., & Wenzel, H. (2015). Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: A review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling. *Journal of Environmental Management* 156, 181-199.
- COM (2010) yyy final. (2010). *Commission Staff Working Document on the Thematic Strategy on the Prevention and Recycling of Waste*. Brussels.
- COM (2011) 13 Bizottsági jelentés. (2011). *Bizottsági jelentés a hulladékkezelés megelőzésére és a hulladékok újrafeldolgozására irányuló tematikus stratégiáról*.
- Commission. (2008). *Commission Report on statistics compiled pursuant to the Regulation (EC) 2150/2002 on waste statistics and their quality*.



- Csukás, B. (1998). Simulation by direct mapping of the structural models onto executable programs. *In: AIChE Annual Meeteng 1998, Miami, Paper 239/9.*
- Csukás, B., Balogh, S., Kováts, S., Aranyi, A., Kocsis, Z., & Bartha L. (1999). Process design by controlled simulation of the executable structural models. *Computers & Chemicals Engineering Vol. 23.*, 569-572.
- Csukás, B., Varga, M., & Balogh S. (2011). Direct computer mapping of executable multiscale hybrid process architectures. *Proceedings of Summer Simulation Multiconference*, 87-95.
- Csukás, B., Varga, M., Miskolczi, N., Balogh, S., Angyal, A., & Bartha, L. (2013). Simplified dynamic simulation model of plastic waste pyrolysis in laboratory and pilot scale tubular reactor. *Fuel Process Techology 106.*, 186-200.
- Dahlén, L., & Lagerkvist, A. (2010). Pay as you throw - Strengths and weaknesses of weight-based billing in household waste collection systems in Sweden. *Waste Management*, 23-31.
- Daskalopoulos, E., Badr, O., & Probert, S. D. (1998). Municipal solid waste: a prediction methodology for the generation rate and composition in the European Union countries and the United States of America. *Resources, Conservation and Recycling 24*, old.: 155-166.
- Dijkgraaf, E., & Gradus, R. (2008). Dutch Cost Savings in Unit-Based Pricing of Household Waste. *The Waste Market*, 111-130.
- D'Onza, G., Greco, G., & Allegrini, M. (2016). Full cost accounting in the analysis of separated waste collection efficiency: A methodological proposal. *Journal of Environmental Management 167*, 59-65.
- EC. (2003). Green paper on services of general interest /\* COM/2003/0270 final \*/.
- EC. (2005.). *The story behind the strategy - EU waste policy*. Forrás: [http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/story\\_book.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/story_book.pdf)
- EC. (2014.). *Ex-post evaluation of Five Waste Streams Directives*. Brussels: European Commission.
- EC. (2018. 05. 30.). 2018/851 irányelv a a hulladékokról szóló 2008/98/EK irányelv módosításáról.



Edjabou, M. E., Jensen, M. B., Götze, R., Pivnenko, K., Petersen, C., Scheutz, C., & Astrup, T. F. (2015). Municipal solid waste composition: Sampling methodology, statistical analyses, and case study evaluation. *Waste Management* 36, old.: 12-23.

EGK. (1975.. július 15.). A Tanács 75/442/EGK irányelve a hulladékokról.

EK. (1994.). *Az Európai Parlament és a Tanács 94/62/EK Irányelve.*

EK. (2002). Az Európai Parlament És A Tanács 1600/2002/EK határozata a hatodik közösségi környezetvédelmi cselekvési program megállapításáról.

EK. (2008.. november 19.). Az Európai Parlament és a Tanács 2008/98/EK irányelve a hulladékokról. [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN#ntr6-L\\_2008312HU.01000301-E0006](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN#ntr6-L_2008312HU.01000301-E0006).

EK. (2014.). COM/2014/0397. *Javaslat az EP és a Tanács 2008/98/EK, 94/62/EK, 1999/31/EK, 2000/53/EK, 2006/66/EK valamint a 2012/19/EU irányelveinek módosításáról.* Brüsszel: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:52014PC0397&from=EN>.

Eke, Z. (2018.. április 11.). *Járatoptimalizálás a hulladékgyűjtésben.* III. Innovatív hulladékgazdálkodás konferencia, Budapest.

EMMI. (2017). 13/2017. (VI. 12.) EMMI rendelet a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás körébe tartozó hulladékkal kapcsolatos közegészségügyi követelményekről.

Eunomia. (2016). *Support to the waste targets review. Final report for DG Environment of the EC.*

Eunomia Research & Consulting. (2002). *Costs for Municipal Waste Management in the EU - Final Report to Directorate General Environment, European Commission.*

Európai Bizottság. (2014.. július 2.). SWD(2014) 208 final. *Bizottsági Szolgálati Munkadokumentum - A hatásvizsgálat összefoglalása.*
Forrás: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:52014SC0208&from=EN>



- Európai Bizottság. (2015. 12 2). Javaslat a csomagolásról és a csomagolási hulladékról szóló 94/62/EK irányelv módosításáról (COM(2015) 596 final). Forrás: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:52015PC0596&from=EN>
- Európai Bizottság. (2015.). *Az anyagkörforgás megvalósítása – a körforgásos gazdaságra vonatkozó uniós cselekvési terv. COM(2015) 614 final.* Forrás: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:52015DC0614&from=EN#footnoteref10>
- Európai Bizottság. (2015.. december 2.). Javaslat a hulladékokról szóló 2008/98/EK irányelv módosításáról (COM(2015)595 final). Brüsszel. Forrás: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:52015PC0595&from=EN>
- Európai Parlament és Tanács. (2013.). *EU határozat a „Jólét bolygónk felélése nélkül” című, a 2020-ig tartó időszakra szóló általános uniós környezetvédelmi cselekvési programról.* Brüsszel: Az Európai Unió Hivatalos Lapja.
- European Commission. (2000). *Success stories on composting and separate collection.* Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- European Commission. (2014.. július 2.). *Ex-post evaluation of Five Waste Stream Directives - Commission Staff Working Document. SWD(2014) 209 final.* Forrás: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52014SC0209>
- European Commission. (2016). *Municipal Waste Compliance Promotion Exercise 2014-5 - Executive Summary.* Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Eurostat. (2013). *Manual on waste statistics. A handbook for data collection on waste generation and treatment.* Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Eurostat. (2018. szeptember 1). *Recycling – secondary material price indicator.* Forrás: Eurostat - Statistics Explained: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics->



explained/index.php?title=Recycling\_%E2%80%93\_secondary\_material\_price\_indicator

Eurostat. (2019.. 03. 25.). Forrás: Municipal waste statistics: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics)

explained/index.php?title=Municipal\_waste\_statistics

Eurostat Newsrelease. (2011). *Recycling accounted for a quarter of total municipal waste treated in 2009*. Eurostat Press Office.

Eurostat Pressrelease. (2016. március 22.). *Environment in the EU - Each person in the EU generated 475 kg of municipal waste in 2014*. Eurostat Press Office.

Faitli, J., Csöke, B., László, T., Györfi, A., Kecskés, Á., Burai, L., . . . Nagy, G. (2006). *Települési szilárd hulladék összetételének vizsgálata*. Miskolc: Miskolci Egyetem Eljárás-technikai Tanszék.

Gallardo, A., Bovea, M. D., Colomer, F. J., & Prades, M. (2012). Analysis of collection systems for sorted household waste in Spain. *Waste Management* 32, 1623-1633.

Gallardo, A., Bovea, M. D., Colomer, F. J., Prades, M., & Carlos, M. (2010). Comparison of different collection systems for sorted household waste in Spain. *Waste Management* 30, 2430-2439.

Ghose, M. K., Dikshit, A. K., & Sharma, S. K. (2006). GIS based transportation model for solid waste disposal – A case study on Asansol municipality. *Waste Management* 26, 1287-1293.

Graczka, S. (2012). Települések a nulla hulladék felé vezető úton., *A települési hulladékgazdálkodás válsága*.

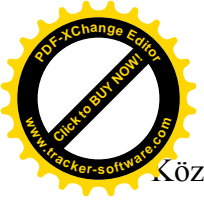
Greco, G., Allegrini, M., Del Lungo, C., & Savellini, P. G. (2015). Drivers of solid waste collection costs. Empirical evidence from Italy. *Journal of Cleaner Production* 106, 364-371.

Groot, J., Bing, X., Bos-Brouwers, H., & Bloemhof-Ruwaard, J. (2014). A comprehensive waste collection cost model applied to post-consumer plastic packaging waste. *Resources, Conservation and Recycling* 85, 79-87.

Grossmann, I. E., & Westerberg, A. W. (2004). Research challenges in process systems engineering. *AIChE Journal*, 1700-1703.



- Gulyás, E. (2008). Az etikus fogyasztás értelmezései. *Szociológiai Szemle*, 106-127.
- Gyalog, G., Varga, M., Berzi-Nagy, L., Halasi-Kovács, B., & Csukás, B. (2018). A klímaváltozás halastavak vízháztartására gyakorolt hatásai - a CLIMEFISH projekt első hazai tapasztalatai. In N. Somogyi, & G. Radó, *Változások kora 2* (old.: 57-64). Gödöllő: NAIK.
- Hall, D. (2010). Waste mangement in Europe: framework, trends and issues. Forrás: www.psir.org/reports/2010-02-G-EWCs.doc
- Hemmelmayr, V., Doerner, K. F., Hartl, R. F., & Rath, S. (2011). A heuristic solution method for node routing based solid waste collection problems. *Journal of Heuristics*.
- Hjaila, K., Láinez-Aguirre, J., Puigjaner, L., & Espuna, A. (2015). Management coordination for multi-participant supply chains under uncertainty. *Operations Research Proceedings*, 437-443.
- Janz, A., Günther, M., & Bilitewski, B. (2011). Reaching cost-saving effects by a mixed collection of light packagings together with residual household waste? *Waste Management & Research* 29, 982-990.
- Joint Research Centre. (2017). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment - Final Draft*.
- Kiss, T. (2007). *Gazdaságosság és rendszerszemlélet a települési szilárdhulladék-gazdálkodásban. Doktori értekezés*.
- Klien, M., & Loser, P. (2009). *Austrian Waste Sector - Working paper CIRIEC No. 2009/10*. Université de Liège au Sart-Tilman.
- Koskovics, É., & Rákosi, J. (2002.. október). Az önkormányzati környezetvédelmi közszolgáltatásokat érintő európai uniós szabályozások megvalósításának feltételei. Budapest.
- Kövecses, P. (2018. április 11.). *Innováció és rendszerszintű kapcsolódó fejlesztések az NHKV Zrt. szemével*. Kövecses Péter, Budapest.
- Köztisztasági Egyesülés. (2003). A települési szilárd hulladék szelektív kezelésének módszerei, alkalmazási lehetőségei. In H. é. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, *Hulladékgazdálkodási Szakmai Füzetek 4*.



- Köztisztasági Egyesülés. (2010). *A települési hulladék kezelésének jellemző költségviszonyai, a szolgáltatás gazdasági összefüggései a közszolgáltatók szemszögéből.*
- Kytöjoki, J., Nuortio, T., Braysy, O., & Gendreau, M. (2007). An efficient variable neighborhood search heuristic for very large scale vehicle routing problems. *Computers & Operations Research* 34, 2743-2757.
- Ladányi, R. (2013). *Szelektív hulladékgyűjtő szigetek optimális kiszolgálása térinformatikára épülő járattervezéssel. Doktori értekezés.*
- Lavee, D., & Nardiya, S. (2013). A cost evaluation method for transferring municipalities to solid waste source-separated system. *Waste Management* 33, 1064-1072.
- Lebersorger, S., & Schneider, F. (2011). Discussion on the methodology for determining food waste in household waste composition studies. *Waste Management* 31, old.: 1924-1933.
- Levis, J. W., Barlaz, M., DeCarolis, J. F., & Ranjithan, R. S. (2013). A generalized multistage optimization modeling framework for life cycle assessment-based integrated solid waste management. *Environmental Modelling & Software* 50, 51-65.
- Lin, H.-Y., Tsai, Z.-P., Chen, G.-H., & Kao, J.-J. (2011). A model for the implementation of a two-shift municipal solid waste and recyclable material collection plan that offers greater convenience to residents. *Journal of the Air & Waste Management Association* 61:1, 55-62.
- Marconsin, A. F., & dos Santos Rosa, D. (2013). A comparison of two models for dealing with urban solid waste: Management by contract and management by public-private partnership. *Resources, Conservation and Recycling* 74, 115-123.
- Marquardt, W. (1996). Trends in computer-aided process modelling. *Computers & Chemical Engineering Vol. 20.*, 591-609.
- Marques, R. C., da Cruz, N. F., Simoes, P., Ferreira, S. F., Pereira, M. C., & De Jaeger, S. (2014). Economic viability of packaging waste recycling systems: A comparison between Belgium and Portugal. *Resources, Conservation and Recycling* 85, 22-33.



- Mendes, P., Santos, A. C., Nunes, L. M., & Teixeira, M. R. (2013). Evaluating municipal solid waste management performance in regions with strong seasonal variability. *Ecological Indicators* 30, 170-177.
- Mezei, C., Kovács, Z. S., Trenyik, T., & Nagy, I. (2018). Energy potential of waste: Case study of the hungarian waste management system. *Proceedings - 9th International Natural Gas, Heat and Water Conference*, (old.: 189-198).
- Mora, C., Manzini, R., Gamberi, M., & Cascini, A. (2014). Environmental and economic assessment for the optimal configuration of a sustainable solid waste collection system: a 'kerbside' case study. *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 25:9, 737-761.
- Mudgal, S., Kong, M. A., Mitsios, A., Pahal, S., Lecerf, L., Van Acoleyen, M., . . . Watkins, E. (2014.). *Ex-post evaluation of certain waste stream Directives - Final report*. Brussels: European Commission – DG Environment. Forrás: [http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/target\\_review/Final%20Report%20Ex-Post.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/target_review/Final%20Report%20Ex-Post.pdf)
- Münster, M., Ravn, H., Hedegaard, K., Juul, N., & Söderman, M. L. (2015). Economic and environmental optimization of waste treatment. *Waste Management* 38, 486-495.
- Nagy, G. (2012). A hulladékgazdálkodásra vonatkozó szabályozás tervezett módosításának kérdései a közszolgáltatók szemszögéből. *A települési hulladékgazdálkodás válsága*. Budapest: Alapvető Jogok Biztosának Hivatala.
- Németh, K. (2008.). Települések decentralizált energiaellátása biomassza hasznosítással. In *IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia II*. Debrecen.
- NHKV Zrt. (2016.). Országos Hulladékgazdálkodási Közzolgáltatási Terv 2016 (Cselekvési Terv).
- NHKV Zrt. (2017.). *Országos Hulladékgazdálkodási Közzolgáltatási Terv*.
- NHKV Zrt. (2017.). *Országos Hulladékgazdálkodási Közzolgáltatási Terv*.
- Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2014-2020. (2013). (2013.). *Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2014-2020*.



- Pálné, K. I. (2013). *A helyi közszolgáltatások versenyképességet szolgáló modernizálása*. MTA KRTK Regionális Kutatások Intézete.
- Parthan, S. R., Milke, M. W., Wilson, D. C., & Cocks, J. H. (2012). Cost estimation for solid waste management in industrialising regions – Precedents, problems and prospects. *Waste Management* 32, 584-594.
- Pomázi, I. (2013). Németország környezetpolitikája – célok, eredmények, kihívások. *Területi Statisztika* 2013/4., 354-371.
- Puyuelo, B., Colón, J., Martín, P., & Sánchez, A. (2013). Comparison of compostable bags and aerated bins with conventional storage systems to collect the organic fraction of municipal solid waste from homes. A Catalonia case study. *Waste Management* 33, 1381-1389.
- Ramos, T. R., Gomes, M. I., & Barbosa-Póvoa, A. P. (2014). Economic and environmental concerns in planning recyclable waste collection systems. *Transportation Research Part E* 62, 34-54.
- Régiók Bizottsága 2017/C 017/09. (2017). *A Régiók Európai Bizottsága véleménye – A hulladékokról szóló irányelveket módosító jogalkotási javaslatok*.
- Rigamonti, L., Ferreira, S., Grosso, M., & Marques, R. C. (2015). Economic-financial analysis of the Italian packaging waste management system from a local authority's perspective. *Journal of Cleaner Production* 87, 533-541.
- Salhofer, S., Schneider, F., & Obersteiner, G. (2007). The ecological relevance of transport in waste disposal systems in Western Europe. *Waste Management* 27, 47-57.
- Scharff, C., & Vogel, G. (1994). A comparison of collection systems in European cities. *Waste Management & Research* 12, 387-404.
- Szira, Z. (2010). A Pest megyei önkormányzatok hulladékgazdálkodási gyakorlata. *Periodica Oeconomica* III., 59-77.
- Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V., & Carvalho, M. G. (2009). Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste Management* 29, 1176-1185.



- Temesvári, K., Aranyi, A., Csukás, B., & Balogh, S. (2004). Simulated moving bed separation of a two components steroid mixture. *Chromatographia* 60., 189-199.
- Teszár, T. (2018.. április 11.). *Hulladékgyűjtés lovaskocsival*. III. Innovatív hulladékgazdálkodás konferencia, Budapest.
- Tin, A. M., Wise, D. L., Su, W.-H., Reutergardh, L., & Lee, S.-K. (1995). Cost-benefit analysis of the municipal solid waste collection system in Yangon, Myanmar. *Resources, Conservation and Recycling* 14, 103-131.
- Trenyik, T. (2015). Comparison of the recycling performance and the waste legislation in Hungary and Germany. *Journal of Central European Green Innovation*, old.: 125-140.
- Trenyik, T. (2015). Estimation of vehicle demand for the door-to-door separate waste collection. *Regional and Business Studies*, 1-2.
- Trenyik, T. (2016). Estimation of fuel consumption of vehicles for the transporting and collecting phases of solid municipal waste collection - Economics, considering climate change . *Journal of Central European Green Innovation*, 123-134.
- United Nations Environment Programme. (2005). *A tool to measure performance in municipal solid waste management*.
- Vámosi, O. (2012). A hulladékgazdálkodás ösztönzőrendszerének kérdései, fejlesztési irányai, a lakossági szelektív hulladékgyűjtés szervezésével kapcsolatos eredmények és feladatok a hulladékgazdálkodás megvalósuló új szervezetrendszer keretei között. *A települési hulladékgazdálkodás válsága*. Budapest: Alapvető Jogok Biztosának Hivatala.
- Vannessa Goodship ed. (2010.). *Management, recycling and reuse of waste composites*. Cambridge UK: Woodhead Publishing Limited. Forrás: [141](https://books.google.hu/books?id=67OjAgAAQBAJ&pg=PA21&lpg=PA21&dq=recycling+history+eu&source=bl&ots=EK_AHhz7VB&sig=2aiXj0VuFUPrfCGCJPYg46lP_Sw&hl=hu&sa=X&ved=0ahUK Ewjrk-</p></div><div data-bbox=)



z5isrVAhWJL8AKHZiyDYIQ6AEIbjAJ#v=onepage&q=recycling%
20history%20eu&f=false

- Varga, M. (2009). Economic optimization of sustainable complex processes (model based optimizaion inder uncertain cost parameters for industrial scale anaerobic fermentation of sugar beet slice) . *PhD thesis*, Kaposvar University (in Hungarian)
- Varga, M., & Csukás, B. (2017). Generation of extensible ecosystem models from network structure and from locally executable programs. *Ecological Modelling* 364, 25-41.
- Varga, M., & Csukás, B. (2017). Programmable process structures, generated from a network and from functional meta-prototypes. *AIChE Annual Meeting: Proceedings: Computer and Systems Technology Division - Software Tools and Implementations for Process Systems Engineering* , Paper 448e.
- Varga, M., Balogh, S., & Csukás, B. (2016). An extensible, generic environmental process modelling framework with an example for a watershed of a shallow lake. *Environmental modelling & Software* 75, 243-262.
- Varga, M., Balogh, S., Wei, Y., Li, D., & Csukás, B. (2016). Dinamic simulation based method for the reduction of complexity in design and control of Recirculating Aquaculture Systems. *Information Processing in Agriculture*, 146-156.
- Varga, M., Csukás, B., & Balogh, S. (2012). Transparent agrifood interoperability, based on a simplified dynamic simulation model. In T. Milford, & K. Chrvat (eds), *ICT for agriculture, rural development and environment: Where we are? Where we will go?* (old.: 155-174). Prague: Czech Centre for Science and Society.
- Varga, M., Prokop, A., & Csukás, B. (2016). Biosystem models, generated from a complex rule/reaction/influence network and from two functionality prototypes. *BioSystems* 152, 24-43.
- WRAP Waste & Resource Action Programme. (2009). Summary Report – Material Bulk Densities, Report prepared by Resource Futures.



- Yildiz-Geyhan, E., Yilan-Ciftci, G., & Altun-Ciftcioglu, G. A. (2016). Environmental analysis of different packaging waste collection systems for Istanbul – Turkey case study. *Resources, Conservation and Recycling* 107, 27-37.
- Zamorano, M., Molero, E., Grindlay, A., Rodríguez, M. L., Hurtado, A., & Calvo, F. J. (2009). A planning scenario for the application of geographical information systems in municipal waste collection: A case of Churriana de la Vega (Granada, Spain). *Resources, Conservation and Recycling* 54, 123-133.
- Zhang, Y. M., Huang, G. H., & He, L. (2011). An inexact reverse logistics model for municipal solid waste management systems. *Journal of Environmental Management* 92, 522-530.



11. A disszertáció témaköréből megjelent publikációk

Trenyik Tamás (2016). Estimation the vehicle demand of the door-to-door separate waste collection. *Regional and Business Studies Vol. 8 No 1*, 47-58

Trenyik Tamás (2015). Comparison of the recycling performance and the waste legislation in Hungary and Germany. *Journal of Central European Green Innovation 3*, 125-140

Trenyik Tamás (2016). Estimation of fuel consumption of vehicles for the transporting and collecting phases of solid municipal waste collection – Economics, considering climate change. *Journal of Central European Green Innovation 4*, 123-134.

Takács Vivien, Tóth Katalin, Borbély Csaba, Trenyik Tamás (2016). Az élelmiszerpazarlás csökkentésének megítélése az éttermekben. *In: Szente Viktória, Gál Veronika Alexandra, Bareith Tibor (szerk.). Junior kutatók munkái: Válogatás a kaposvári egyetem gazdaságtudományi kar diákköri kutatócsoportjainak vizsgálataiból.* Kaposvár: Kaposvári Egyetem Gazdaságtudományi Kar, pp. 47-52.

Mezei C, Kovács S Zs, Trenyik T, Nagy I (2018). Energy Potential of Waste: Case Study of the Hungarian Waste Management System. *In: Raos P, Galeta T, Kozak D, Raos M, Stojšić J, Tonković Z (szerk.) 16. Skup o prirodnom plinu, toplini i vodi = 16th Natural gas, heat and water conference: 9. Međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi = 9th International natural gas, heat and water conference.* 189-198. Konferencia helye, ideje: Osijek, Horvátország, 2018.09.26-2018.09.28. Slavonski Brod: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, pp. 189-198. (Zbornik Radova)



12. Szakmai önéletrajz

MUNKAHELYEK

- 2016-2018 Kaposvári Környezetvédelmi Kft. - ügyvezető
Köz- és zöldterület-fenntartás, ipari és veszélyes hulladékok
- 2014-2018 Dél-Dunántúli Hulladékkezelő Nonprofit Kft. - ügyvezető
Hulladékgazdálkodás
- 2012-2014 Kaposvári Városgazdálkodási Zrt. – munkaszervezetet irányító igazgató
Hulladékgazdálkodás, közterület-fenntartás, környezetvédelem
- 2009-2012 Saubermacher Magyarország Kft. – szolgáltatás-vezető
Hulladékgazdálkodás, közterület-fenntartás, környezetvédelem
- 2006-2009 Kaposvári Városgazdálkodási Zrt. – szolgáltatási igazgató
Hulladékgazdálkodás, köz- és zöldterület-fenntartás, környezetvédelem
- 2003-2006 Dél-dunántúli Regionális Fejlesztési Ügynökség Kht. - projektmenedzser
Területfejlesztés
- 2002-2003 AGRÁRIN Kft. – üzletág menedzser
Mezőgazdasági vállalatirányítás

VÉGZETTSÉG

- | | |
|----------------------------------|---|
| okl. környezetvédelmi szakmérnök | Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem
Vegyészmérnöki Kar |
| okl. gazdasági agrármérnök | Veszprémi Egyetem Georgikon
Mezőgazdaságtudományi Kar |