

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

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.

1. A kutatás előzményei, célkitűzés

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 elkülönített 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 évi 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.

A szakirodalom áttanulmányozása alapján nyilvánvalóvá vált, 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.

2. Anyag és módszer

A hulladékgazdálkodás területét bőséges jogszabályi anyag szabályozza. Ennek áttanulmányozása fontos alapja a munkának. A szakirodalomban lefektetett gondolatok jól alkalmazhatóak egyes részproblémák megoldására. Fentiekén túl a saját tapasztalataimból származó információk strukturálása jelentette az input adatok jelentős részét.

A vidéki területeken keletkező települési hulladék mennyiségének megállapításához a KSH adatok országos átlaga nem bizonyult használhatónak. A dél-dunántúli térségben 200-240 kg/fő/év hulladékmennyiség keletkezik.

A hulladék összetételének ismerete alapvető fontosságú a begyűjtés szervezésénél illetve a szelektíven gyűjthető mennyiség meghatározásánál. Először a frakciók meghatározása történt meg. A hulladékanalízis szabványa és a stratégiai dokumentumokban szereplő hulladékáramok alapján kialakított kiindulási táblázat azonban egymásnak nem megfeleltethető, néha egymást részben tartalmazó hulladékfajtákat is tartalmazott. A nem konzisztens listából végül kiválasztásra és egyértelműsítésre kerültek a közszolgáltatás keretében rendszeresen szállított hulladékáramok. A nem rendszeresen begyűjtött frakciók, az anyagi minőséggel nem egyértelműen összekapcsolható, valamint a hulladékudvarokban keletkező mennyiség nem képezte részét a modellnek.

A kutatás fókuszában maradt hulladékáramok tömegarányának meghatározáshoz szintén nem a KSH adatok, hanem a 2006-os Faitli-féle hulladékanalízis eredményei lettek felhasználva. Ennek eredménye az alkalmazott kisebb rostaméret miatt jobban közelít a tényleges összetételhez és a nemzetközi adatokhoz (főleg a biológiailag lebomló frakció lényeges ebből a szempontból).

A mennyiségek és tömegarányok meghatározásán túl az egyes hulladékáramok sűrűségének meghatározása is szükséges, hiszen a szállítási kapacitásokat ennek ismeretében lehet számszerűsíteni. A sűrűségek részben szakirodalmi adatok, részben szakterületi tapasztalaton alapuló mérnöki becslés segítségével kerültek meghatározásra.

A modellterület gyűjtési úthosszának meghatározásához a KSH települési adatbázisának lakásszám és belterületi úthossz adatait használtam fel, több korrekciós lépés alkalmazásával.

Részben a szakirodalmi áttekintés, részben saját adatok alapján definiáltam az ingatlannál történő gyűjtési sémákat, az elsődleges és másodlagos szállítóeszközöket, valamint a lokális és központi elválasztási műveleteket.

A hulladékgazdálkodási tervezés egyik alapvető információja a tevékenységek költségeinek ismerete. A modellben minden változáselem fajlagos költsége is meg lett határozva. A terminális elemek árai, illetve költségei is kidolgozásra kerültek. A tároló állapot elemeknél nem keletkezik költség. A dolgozat célja az adott hulladék öszlet legkedvezőbb költségű begyűjtési módjainak megtalálása (különböző elkülönítési scenáriók mellett), ezért a hulladékgazdálkodási rendszerek költségelemzését is elvégeztem. A becsült költségtényezőket az 1-4. táblázatokban foglaltam össze.

1. táblázat - A válogatás fajlagos költségei (összesítés)

Leírás	Ft/kg
háztartás	0
mechanikai kezelés, válogatás-bálázás	3-30
lokális átcsomagolás	4-5
lokális válogatás	8-23
kistérségi válogatás	8-23
komposztálás	3

2. táblázat - A szállítás fajlagos költségei I. (összesítés)

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

3. táblázat - A szállítás fajlagos költségei II. (összesítés)

Leírás	Konténer/tartály ürítés költsége (Ft/óra)	Konténer/tartály ürítés időszükséglete (óra/konténer)	Konténer/tartály kapacitása (kg)
tömörítő jármű	10 000	0,066-0,2	22-3 250
láncos konténerürítő	8 000-10 000	0,2	110-3 250
horgos konténeres jármű	8 000-10 000	0,2-0,22	660-12 000
darus jármű	8 000-10 000	0,2-0,5	33-7 500

4. táblázat - A terminális elemek költségei

Leírás	Költség (Ft/kg)
fém	-6
deponálás	12
RDF	-1
vegyes papír	-20
hullámpapír	-33

tetra	-6
PET	-60
PE	-50
egyéb műanyag	-15
nem vasfém	-300
üveg	-2

Dolgozatomban témavezetőm kutatócsoportjával együttműködve a Programozható Struktúrák módszerét alkalmaztuk a lehetséges hulladékgyűjtési és feldolgozási módszerek folyamat modelljének generálására, valamint a megoldások dinamikus szimuláción alapuló értékelésére.

Ez a módszer általános megoldást nyújt komplex folyamatmodellek automatikus generálására és végrehajtására. A rendszer kiinduló elemei: a folyamathálózat deklarációja és két általánosan használható funkcionális alapelem GraphML definíciója. A generált modell tartalmazza a kezdeti elválasztások, begyűjtések, szállítások, előkezelések és végtermék hasznosítások, illetve deponálások rendszerezett leírását. A modell generálását és végrehajtását egy deklaratív nyelven (PROLOG) írt általános keretprogram támogatja.

3. Eredmények

3.1 A modelltelepülés lakossági hulladékának meghatározása

A modellezés során a példaként szolgáló település 10 000 ingatlannal rendelkezik. A KSH települési adatai alapján a vidéki lakosság körében egy ingatlanban átlagosan 2,635 fő lakik. A modellben egy fő éves hulladéktermelését 231 kg/fő/évben állapítottuk meg. Ezeket az alapadatokat foglalja össze az 5. táblázat.

5. táblázat - Az ingatlanok hulladéktermelési alapadatai

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

A modelltelepülés éves hulladéktermelése így 6 091,8 tonna.

A modellben szereplő hulladék összetételt a 6. táblázatban foglaltam össze. Az életszerűen újrahasznosítható anyagok elméleti maximuma 70,75 %, ezen belül 31,2 % a biohulladék aránya.

6. táblázat – A modelltérség hulladékösszetétele és a frakciók éves mennyiségei

Kód	Megnevezés	m/m%	Mennyiség
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

Minden kommunális hulladékgyűjtés kiindulópontja a háztartás vagy egyéb ingatlan, ahol az adott mennyiségű és összetételű hulladék keletkezik. Ez a helyszín jelenik meg kiindulási változás elemként a modellben. A kiinduló változás az, amikor a háztartás különféle szelekcióval (vagy éppen szelekció nélkül) kihelyezi a hulladékot a közterületre, ezzel átadva azt a

közszolgáltatóknak. A kiindulási sémák alapvető csoportjainak összefoglalását a 7. táblázat mutatja be.

7. táblázat – Az ingatlan lehetőségei a hulladék gyűjtésére és átadására

Sémák	Leírás
S 101 - S 166	egyedényes gyűjtési variációk, szelektív anyag gyűjtőpontra kerül
S 201 - S 220	kétédényes gyűjtési variációk (száraz-nedves sémák)
S 301 - S 320	háromedényes gyűjtési variációk (vegyes + papír + műanyag)

3.2 A hulladék szállítása

Az egyes állapotokból a következő állapotba történő hulladékmozgások különböző járművel és eltérő edényekben történnek. A változás elemek azok az elemi folyamatok a modellben, amikor az egyes állapot elemekből valamilyen módosuláson keresztül a következő állapot elemekbe kerül a hulladék. Jellemzően a gyűjtési, begyűjtési tevékenységek, a programozott járművek valamelyikével megvalósított szállítások, illetve a válogatási és egyéb kezelési eljárások tartoznak ide. A szállítási elemek főbb csoportjai a 8. táblázatban láthatók.

8. táblázat - A „jármű” típusú változáselemek csoportjai a modellben

	Db	Leírás
Változás csoport 2	47	tömörítőlapos hulladékgyűjtő jármű
Változás csoport 3	28	láncos konténeres jármű
Változás csoport 4	28	horgos konténeres jármű
Változás csoport 5	25	darus emelőszerkezettel felszerelt jármű
Változás csoport 6	15	kisteherjármű
Változás csoport 7	12	alternatív jármű

A modellben a hulladék elválasztásokon keresztül halad tárolóról-tárolóra. A kezdő elválasztás az ingatlan, ahol a hulladék keletkezik, és valamilyen lehetőségvariációban átadódik a lehetséges elválasztások egyikének. A tárolók (állapot elemek) jellemzően edények, kezelőlétesítmények tárolási helyei, valamint bálázott és ömlesztett formában tárolt hulladékok.

A 9. táblázat a modell állapot elemeinek csoportjait mutatja be.

9. táblázat - A modellben alkalmazott „tárolás/edény” típusú állapototelemek

	Db	Leírás
Állapotcsoport 1	1	ingatlan
Állapotcsoport 2	4	vegyes hulladék gyűjtő edényzet (pl. kuka-tartály, konténer)
Állapotcsoport 3	8	szelektív hulladék gyűjtő edényzet (pl. kuka-tartály, molok)
Állapotcsoport 4	24	szelektív hulladék tárolására szolgáló görgős konténerek (pl. 30 m ³ -es és 30m ³ -es tömörítős)
Állapotcsoport 5	25	szelektív hulladék tárolására szolgáló láncos konténerek (pl. 5 m ³ -es és 5m ³ -es tömörítős)
Állapotcsoport 6	8	bálázott szelektív anyagok
Állapotcsoport 7	11	szelektív hulladék tárolására szolgáló zsákok (pl. 1 m ³ -es big-bag)
Állapotcsoport 8	5	ömlesztett formában tárolt elkülönített hulladékok

Az egyes hulladékfajták ugyanazon szállítóeszközzel (pl. tömörítős jármű) történő szállítása eltérő maximális tömeggel valósul meg (ld. 10. táblázat).

10. táblázat - Példa a járművek súlykapacitására egyes hulladékok és edények esetében

Hulladékfajta	Jármű	Edény	Hova	Kapacitás
vegyes hulladék	tömörítős	kuka 60-1100 l	mechanikai	10000 kg
vegyes hulladék	tömörítős	zsák	mechanikai	10000 kg
vegyes hulladék	tömörítős	5 m ³ konténer	mechanikai	8000 kg
kevert szelektív	tömörítős	kuka 60-1100 l	több fogadó	4500 kg
szelektív papír	tömörítős	kuka 60-1100 l	több fogadó	5500 kg
szelektív műanyag	tömörítős	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 példákat a 11. táblázatban.

11. táblázat - Példák a tárolóeszközök súlykapacitására az egyes hulladékok esetében

Hulladékfajta	Edény	Kapacitás
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

3.2.1 Gyűjtési gyakoriságok

Az elsődleges begyűjtésnél (jogszály, helyi rendelet vagy közszolgáltatási szerződés által szabályozva) a 12. táblázatban látható begyűjtési gyakoriságokat alkalmaztuk.

12. táblázat – A modellben alkalmazott gyűjtési gyakoriságok az elsődleges helyszínekről

Hulladékfajta	Gyakoriság
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 ismeretében történik meg.

3.2.2 A modell mintaterületének távolsága a kezelőközponttól

A kezelőközponttól való távolság jelentősen hat az adott scenáriókban a költség szempontjából leghatékonyabb gyűjtési módszerek kiválasztására. Ezért többféle távolságértékkel elvégzett szimulációkra van szükség. Az első közelítésben rögzített értékek a következők voltak:

10 km: alapja az, hogy a komplex kezelők általában egy nagyváros közelében épültek fel. Így képet kaptunk az ily módon speciális helyzetben lévő települések optimálisnak látszó rendszerelemeiről;

50 km: az OHKT az 50 km-es maximális távolságú begyűjtési körzeteket tartja az együtemű gyűjtés felső korlátjának.

3.2.3 A gyűjtési úthossz meghatározása házhoz menő gyűjtésnél

A kialakult gyakorlat szerint a gyűjtőjáratok a kisebb forgalmú, keskenyebb utcák mindkét oldalán kihelyezett kukaedényeket egy menetben ürítik le. A nagyobb forgalmú, sávvalasztóval 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.

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 KSH települési adatbázisának értékeiből számított Somogy megyei alapértékek a 13. táblázatban láthatók.

13. táblázat – A gyűjtési úthossz számítása

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 távolság: 302 kilométer.

3.2.4 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 távolság így 60,4 km. Ez persze jelentős egyszerűsítés, mely minden anyagáramnál ugyanazon értékkel számol. Egy konkrét terület adatainak programozásánál ezt az értéket jóval pontosabban ki lehet (és ki is kell) dolgozni a munka folytatása során.

A gyűjtőpontos begyűjtésnél a gyűjtési idő meghatározása is szükséges. 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 az ürítéshez szükséges standard idővel megszorozva számítható a költség.

3.2.5 A kétfázisú begyűjtés lehetősége

A kétfázisú szállítás lényege, 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). Kétfázisú szállításnál a házhoz menő gyűjtést helyi, kis költséggel működtethető járművekkel, helyi munkaerő alkalmazásával lehet elvégezni, 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 kisteherjármű néven illetjük a platós, utánfutós stb. megoldásokat. Létezik egy további eszközfajta, melyre a nemzetközi gyakorlatban a fejlett országokban is van példa, Magyarországon pedig több térségben próbaprojekteket végeztek a megvalósítás lehetőségeit illetően. Ez az elkülönített hulladékok lovas kocsival történő begyűjtése.

3.2.6 A begyűjtés költségei

A szakirodalmi eredményeket részben felhasználva a következő költségstruktúrát dolgoztam ki:

A begyűjtés költség számításánál egy, a gyűjtött anyag fajtájától független mutatót határoztam meg Ft/gyűjtésre fordított kilométer formájában. Ezt a költségértéket használjuk a házhoz menő gyűjtésnél. Határozottan megkülönböztetjük a gyűjtési és munkaterületre gurulási fázist. A munkaterület elérését és a kezelőközpontba történő utat Ft/km-ben határoztuk meg. Ez az érték minden gyűjtési variációnál megjelenik.

A gyűjtőpontos jellegű begyűjtésnél (konténer, szelektív sziget, lokális előkezelő stb.) a jármű órában kifejezett költségét használtam fel (Ft/óra).

A gyűjtőpontos begyűjtési variációkhoz meghatároztuk az egyes gyűjtőedények ürítéséhez szükséges időt.

A járművek tömegkapacitását minden gyűjtési verzióra meghatároztuk. Ezt az értéket használja modell a kezelőtelepre, illetve lerakóra való indulás szükségességének megállapítására.

A modellterület házhoz menő gyűjtésének költség számításához a következő képletet dolgoztuk ki (példák a 14. táblázatban):

$$\text{Költség} = K_{\text{Fordszám}} * T_{\text{av}} * 2 * G_{\text{ktg}} + G_{\text{yktg}} * 302$$

KFordszám: a begyűjtéshez szükséges fordulósám (db)

Tav: a modellterület távolsága a komplex kezelőtől (km)

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

Gyktg: a gyűjtés fajlagos költsége (Ft/óra)

A gyűjtőpontos gyűjtésnél alkalmazott képlet (példák a 15. táblázatban):

$$\text{Költség} = K_{\text{Fordszám}} * T_{\text{av}} * 2 * G_{\text{ktg}} + G_{\text{ktg}} * 302 * 0.2 + (M / K_{\text{kapac}}) * K_{\text{idő}} * K_{\text{ktg}}$$

KFordszám: a begyűjtéshez szükséges fordulósám (db)

Tav: a modellterület távolsága a komplex kezelőtől (km)

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

M: a begyűjtendő mennyiség (kg)

KKapac: a szállítóeszközzel egy fuvarban vihető mennyiség (kg)

Kidő: egy konténer/tartály/stb. ürítéséhez szükséges idő (óra)

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

14. táblázat - Példák a házhoz menő gyűjtés költségértékeire

Szállítás	Honnan	Hova	Ft/gyűjtéskm	Ft/guruláskm
tömörítő autó	kuka (vegyes)	mechanikai kezelő	3 000	400
tömörítő autó	zsák (vegyes)	mechanikai kezelő	3 100	400
kisteherjármű	kevert szelektív	lokális előkezelő	1 250	180
alternatív	kevert szelektív	lokális előkezelő	750	450

15. táblázat - Példák a gyűjtőpontos gyűjtés költségértékeire

Szállítás	Honnan	Hova	Ft/munkaóra	Időszükséglet
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

3.3. Előkészítési és elválasztási lehetőségek

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 (hasznosítás szempontjából) az éghető frakció RDF (refuse derived fuel – hulladékból előállított égethető frakció) vagy SRF (solid recovered fuel) formájában. A válogatási folyamat végén a legnagyobb részarányt mégis a vegyes hulladék maradékfrakciója jelenti, melynek sorsa lerakóban történő ártalmatlanítás

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 szállítószalagokkal, emelt állásokon dolgozó kézi erővel válogatják ki. 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 italoskarton,
- 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),
- nemvas fémek,
- vasfémek,
- válogatási maradék (minden olyan frakció és mennyiség, amely különbözik a fentiekől, gyakorlatilag a szelektív edények szennyezettsége vagy ki nem válogatott mennyisége).

A válogatási folyamat végén a szalagon maradó anyagok a mechanikai kezelőbe, vagy aprítás után RDF frakcióba kerülnek.

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

Ezért egy költséghatékonyan működő távoli, kétfázisú begyűjtési rendszer mindenképpen egy közeli fogadó létesítményt feltételez.

A lokális előkezelés a kétfázisú szállítás két fázisa közé ékelődhet be. A településen bármilyen szállítóeszkővel begyűjtött hulladék nem kerül szállításra az –adott esetben távoli - kezelőközpontba, hanem a helyi fogadó létesítményben kerül ideiglenes leürítésre.

A lokálisan elvégezhető legegyszerűbb művelet a beérkezett ömlesztett hulladék átcsomagolása. 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. Amennyiben ez rendszerszinten költségcsökkentést eredményez, akkor az átcsomagoláson túl a lokális egységben olyan nagyobb hozzáadott értékű feladatok is elvégezhetőek, mint pl. a válogatás. A lokális válogatáshoz kapcsolva többféle hulladékutat építettem 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 is a nem mágnesezhető fémektől. A másodlagos elválasztásokkal kapcsolatos változás és állapot elemek főbb csoportjai a 16. és 17. táblázatban láthatók.

16. táblázat - Az elválasztás jellegű változás elemek csoportjai a modellben

	Db	Leírás
Változás csoport 8	2	regionális méretű mechanikai kezelés, válogatás-bálázás
Változás csoport 9	30	lokális átcsomagolás
Változás csoport 10	25	lokális válogatás
Változás csoport 11	25	kistérségi válogatás

17. táblázat - A modellben alkalmazott tárolás jellegű állapotok

	Db	Leírás
Állapotcsoport 9	7	biohulladék tárolása (gyűjtőpont-komposztáló-házi komposztáló)
Állapotcsoport 10	11	lokális és kistérségi előkezelő
Állapotcsoport 11	5	lerakó, mechanikai kezelőmű, regionális válogatómű

A begyűjtés költségei mellett a másik nagy költségcsoport a kezelési tevékenységek költsége. Ez nagyban függ a kezelt anyag összetételétől. A kezelés költsége a különböző anyagfélésekre Ft/kg-ban lett meghatározva. Figyelembe vettem 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 edénnyel való munka munkaidényét mutatják.

A kezelési költségeket az 1. táblázat szerint vettem figyelembe.

3.4 A rendszer bevételei

Az adott rendszer végső gazdaságosságának számítása a begyűjtés és előkezelés költségén túl még két tényező árának/bevételének az ismeretét teszi szükségessé.

Az első a háztartás által a szolgáltatásért fizetendő közszolgáltatási díj. Ennek összegét tulajdonképpen a rendszer működésének költségei és a befolyó bevételek összegzése után várhatóan fennmaradó fedezetlen költség felosztásával lehet kiszámítani.

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 bálázott haszonanyagok értékesítési árait a 4. táblázat szerinti mértékekben állapítottam meg.

3.5 A modell felépítése és működése

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 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 folyamatok lehetséges állapot és változás elemeinek leírását egy szöveges input fájl tartalmazza. Ez rögzített szintaxis szerint írja le mindazon információkat, melyeket a PROLOG programozási nyelven írt Programozható Struktúrák általános programja (az általánosan használt állapot és változás meta-prototípus ismeretében) folyamatmodellt generáló inputként tud fogadni. A folyamatmodell generátor az állapotok és változások különböző jellemzőit leíró Excel fájl alapján veszi figyelembe az egyes elemekhez tartozó paramétereket.

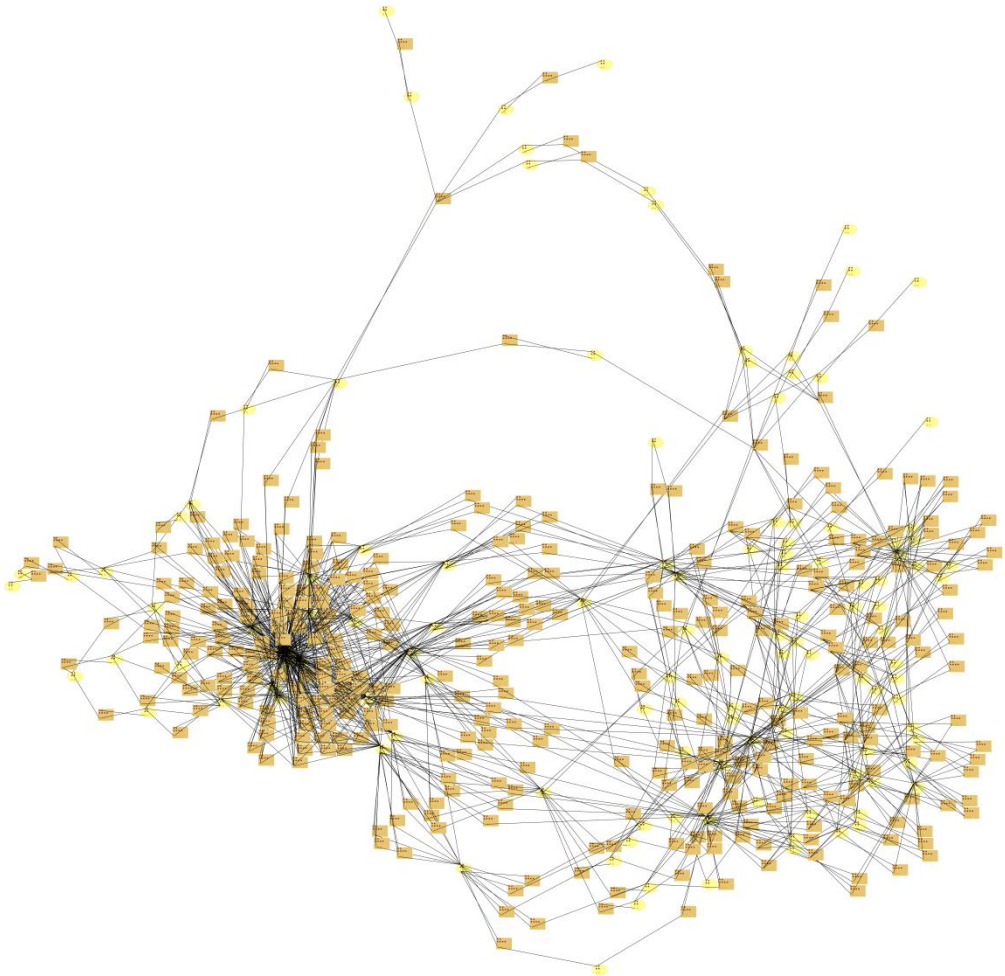
A folyamathálózat összes lehetőségét tartalmazó generált Programozható Struktúra rajza az 1. ábrán látható.

A GraphML állomány az összes lehetséges állapot (tárolási, ellipszissel jelölt) és változás (elválasztási, szállítási, illetve végtermék kibocsátási; téglalappal jelölt) elemet, valamint a köztük lévő összes kapcsolatot meghatározza. A struktúra elemei szerkeszthető formában tartalmazzák a kezdeti paramétereket, valamint a különféle értékelési paramétereket is. Ez a modell reprezentáció támogatja (a kezdeti jellemzőkkel és paraméterekkel összhangban) a meta-prototípusok másolataként elkészíthető lokális programokat tartalmazó prototípusok szerkesztését.

A folyamat modell számításához alkalmazott konkrét lokális program prototípusok a következő elemi folyamat típusokat számítják:

- "state" állapot prototípus: összegzi a különféle csökkentő és növelő input változásoknak az adott tárolóhelyre gyakorolt hatását, és meghatározza az aktuális 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

1. ábra – Az összes állapot, változás és kapcsolat lehetőséget tartalmazó generált folyamatmodell struktúrája



szezonális változásait is). A háztartásokat leíró állapot elem a modell egyetlen input eleme (a teljes modell egy konsekutív elágazásokat leíró "disassembly" típusú struktúra, amelyben azonban lehetnek recirkulációs ágak is);

- "selecting" változás prototípus: a háztartási, lokális, kistérségi és regionális elválasztások és a kapcsolódó költségek számítását biztosítja (egy lehetséges továbbfejlesztés esetén ez a prototípus kezelheti a hulladék elválasztás határfokának és tisztaságának változásait 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 határozza meg.

Az alternatív megoldások generálásának módszere a következő:

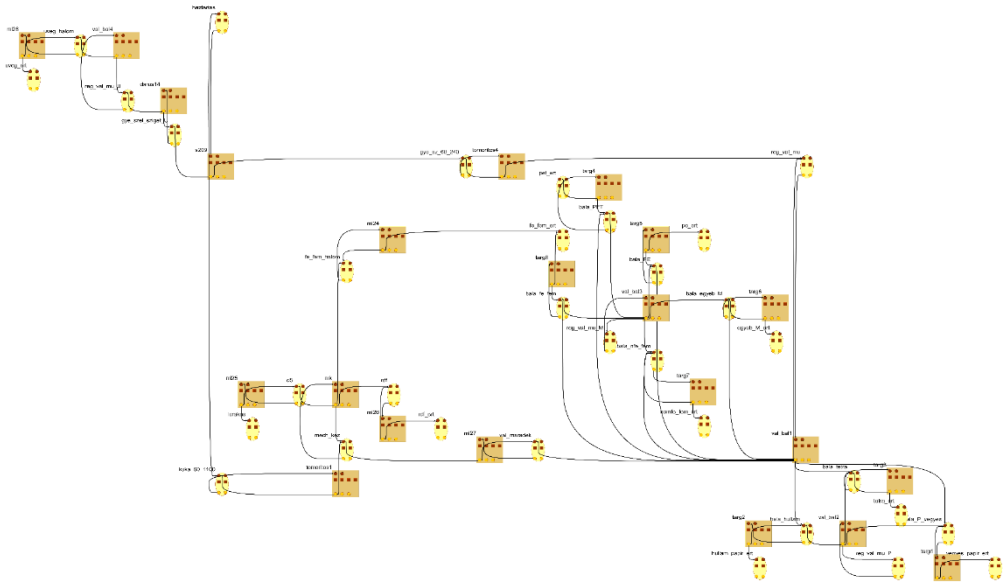
- a folyamat hálózat leíró állományban azon és csak azon trans() típusú változás elemek státuszát állítjuk y-ra, amelyekre az egyedi modellben szükség van (a többi elem státuszát n-re módosítjuk);
- az így módosított szöveges és az eredeti Excel adatállomány, valamint a két metaprototípus felhasználásával generáljuk a modellt;
- a generált GraphML leírásból a Programozható Struktúrák egy következő általános opciójával generáljuk a szimulációs modell két dinamikus Prolog adatbázisát;
- a Programozható Struktúrák egy további általános opciójával elvégezzük a dinamikus szimulációt, amelynek eredményeként egy .csv állományban jelenik meg. Ez tartalmazza az idő függvényében táblázatba rendezett hulladéktermelési, -szétválasztási és szállítási értékeket.

Egy séma egyetlen kiválasztott folyamathálóját mutatja be a 2. ábra, a rendszer üzemelésének éves költség alakulását pedig az azt követő 3. ábra.

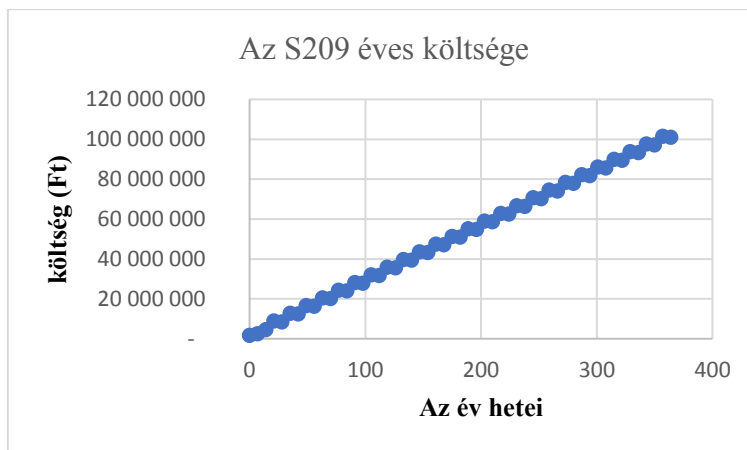
Az előnyös (szub-optimalis) begyűjtési és elválasztási megoldások kiválasztása az összes lehetséges megoldás egyszerűsített generálását és értékelését igényli.

Az egyszerűsített generálás azt jelenti, hogy a lehetséges állapot és változás elemek leírása ismeretében egy ebből a célból készített algoritmussal előállítjuk az összes lehetséges egyedi modell kódját (azaz az egyes megoldásokban szereplő építő elemeket), majd ennek ismeretében az előre elkészített teljes modellben csak azon az elemek számítását engedélyezzük, amelyek az adott megoldásban szerepelnek. Ilyen módon külön generálás nélkül is sorra elvégezhetjük akár az összes modell számítását is.

2. ábra – Az S209 séma egy kiválasztott variánsának folyamatábrája



3. ábra – Az S209 egy variánsának éves költség alakulása

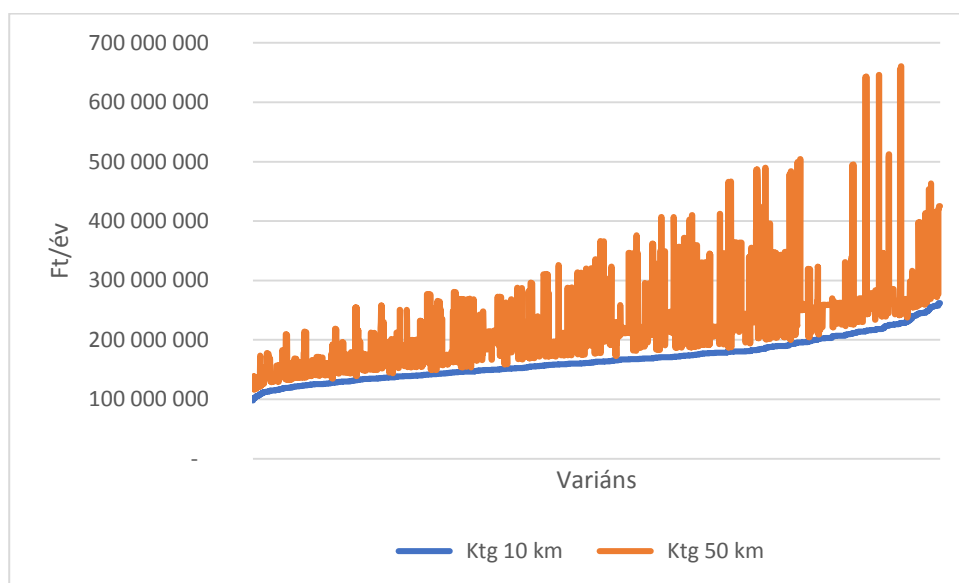


Az egyszerűsített értékelés esetén a számítási sebesség növelése és memória takarékoság okán nem íratjuk ki a dinamikus szimuláció részletes eredményeit, hanem csak néhány kiválasztott, kumulált jellemzőt (például a teljes költséget, a lerakás mennyiségét stb.) a teljes évre vonatkozóan. Természetesen az is megoldható, hogy bármelyik kiválasztott variáns számítási eredményét részletesen is kiírassuk az előzőek szerinti kódjából kiindulva (ez ugyanis jóval egyszerűbb így, mint külön-külön generálni az egyes

modelleket). A modell továbbfejlesztett leíró állományának felhasználásával csaknem 600 ezer variánst lehet generálni.

A 4. ábra csaknem 40 ezer kiválasztott variáns éves költségét ábrázolja, megmutatva, miként változik a költség abban az esetben, ha azt a központi kezelőtől számított távolságot 10 km-ről 50 km-re növeljük.

4. ábra – A vizsgált variánsok éves költsége 10 illetve 50 km-es távolság esetén



4. Következtetések és javaslatok

4.1 A szakirodalom tanulmányozása után 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 kötöttség együttesen jól szolgálhatja 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). Ennek a szintnek a 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 fókusza nem a teljes tevékenységre, hanem csak egy kiválasztott szűk területre korlátozódik. Ha összesítjük a rendelkezésre álló tudáselemeket, kimondható, hogy a felépítő rendszerelemek 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. Scenáriók 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 eltérésekre¹. 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 könnyen azonosíthatóak. A gyűjtés költségeinek meghatározására egyébként több tanulmány is javasol módszereket. Ezek tanulmányozása során szembetűnő, hogy az általános módszereken (benchmark, fajlagos költségszámítás stb.) kívül csak csekély számban vannak speciálisan "hulladékös felfogású" módszerek. 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.

¹ A mai magyar közszolgáltatás finanszírozási rendszere névleg elismeri ugyan (a népsűrűség figyelembevételével) ezt, ennek forintban számszerűsített eredménye azonban gyakorlatilag elhanyagolható.

4.2 A modellkészítést megalapozó, rendszerező gondolkozás 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 évi ~25%-os céltól, a 2025 évi 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, hogy a köztes tevékenységek munkavégzése, kimenő anyagáramai és minősége a regionális mű számára megfelelő legyen.
- A biológiailag 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, hogy 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 ugyanis 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 település szinten jogosan megkérdőjelezhető.

4.3 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 szezonálisitást 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, a költségek, illetve az árbevételek előrejelzését.

5. Új kutatási 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 hulladék mennyiséget 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 építőelemek 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.

6. Az értekezés témaköréből írt tudományos közlemények

1. 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
2. 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
3. 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.
4. 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.
5. 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 (Eds.) 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, (Zbornik Radova)