



MISKOLCI EGYETEM



Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola

Anyagáramlási rendszerek és logisztikai informatika tématerület

Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék

SZELEKTÍV HULLADÉKGYŰJTŐ SZIGETEK OPTIMÁLIS KISZOLGÁLÁSA TÉRINFORMATIKÁRA ÉPÜLŐ JÁRATTERVEZÉSSSEL

Ph.D. értekezés

készítette:

Ladányi Richárd

okleveles mérnök - informatikus

Témavezető:

Prof. Dr. habil. Illés Béla

egyetemi tanár

MISKOLC

2013.

NYILATKOZAT

Alulírott **Ladányi Richárd** kijelentem, hogy ezt a doktori értekezést magam készítettem és abban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint, vagy azonos tartalomban, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem. A dolgozat bírálatai és a védésről készült jegyzőkönyv a későbbiekben, a Miskolci Egyetem Dékáni Hivatalában lesz elérhető.

Miskolc, 2013.10.16.

Ladányi Richárd

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az értekezés a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. –kutatási tevékenységének részeként készült a Miskolci Egyetem Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola keretein belül.

Elsőként szeretnék köszönetet mondani Prof. Dr. habil Illés Bélának, a tudományos vezetőmnak, hogy szakmai iránymutatásával segítette munkám elkészülését. Külön köszönettel tartozom Dr. Németh Jánosnak és Dr. Mang Bélának a disszertáció elkészítése kapcsán a szakterületükhöz kapcsolódó építő jellegű javaslataikért. Köszönöm az Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék kollektívájának szakmai és erkölcsi támogatását.

Köszönettel tartozom a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. Környezetmenedzsment és Logisztikai Osztályának, hogy munkájukkal lehetővé tették a kutatási témámban való időigényes elmélyülést, valamint rendelkezéseimre bocsátottak minden szükséges eszközt.

Köszönettel tartozom továbbá a családomnak, akik áldozatvállalása, folyamatos támogatása nélkül nem lettem volna képes helytállni a sorozatos szakmai kihívások melletti kutatási tevékenységem során.

Tartalomjegyzék

1	BEVEZETÉS	1-7
2	A KORSZERŐ SZELEKTÍV HULLADÉKGYŰJTÉS, MINT A HULLADÉKGAZDÁLKODÁS ALAPPILLÉRE	2-9
2.1	A ZÁRTLÁNCÚ GAZDÁLKODÁS MEGTEREMTÉSÉNEK HULLADÉKGYŰJTÉSI VETÜLETE	2-9
2.1.1	Szelektív hulladékgyűjtési módok jellemzése	2-9
2.1.2	A lakossági szelektív hulladékgyűjtéssel kapcsolatos előírások	2-15
2.2	HULLADÉKGYŰJTÉS A GYAKORLATBAN	2-16
2.2.1	Gyűjtőpontok és hasznosító művek	2-16
2.2.2	Hulladéktípusok	2-17
2.2.3	A hulladékok gyűjtési módjai	2-18
2.3	A SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE	2-19
2.3.1	A szelektív hulladékgyűjtő rendszerek jellemzése	2-19
2.3.2	Gyűjtőjárat – tervezési megoldások	2-20
3	SZELEKTÍV HULLADÉKGYŰJTŐ LOGISZTIKAI RENDSZEREK	3-25
3.1	TERÜLETI INTERPOLÁCIÓ, SZEGMENTÁLÁS	3-25
3.1.1	Raszterműveletek	3-25
3.1.2	Szegmentálás képfeldolgozási eljárások során alkalmazott módszerek felhasználásával	3-27
3.2	CENTRUMKERESÉS A SZIGETEK POZÍCIÓINAK KIJELELÉSE ÉRDEKÉBEN	3-29
3.3	JÁRATTERVEZÉS A HULLADÉKGYŰJTÉSI RENDSZEREKBEN	3-31
3.3.1	A járattervezés logisztikai megközelítése	3-31
3.3.2	A járattípusok, és tervezésük módszerei	3-33
3.3.3	A hulladékgyűjtési célú járattervezés matematikai alapjai	3-34
3.4	RENDSZERTERVEZÉSI FELADATOK A HULLADÉKOK GYŰJTÉSI SAJÁTOSSÁGAIK ILLETŐEN	3-38

4	FELADATKITŰZÉS	4-42
5	A GYŰJTÉSI HATÉKONYSÁGOT A TERÜLETI INFORMÁCIÓK FELHASZNÁLÁSÁVAL NÖVELŐ HULLADÉKGYŰJTŐ RENDSZER – TERVEZŐ MODELL LÉTREHOZÁSA, MŰKÖDÉSE ÉS EREDMÉNYEI	5-46
5.1	A TÉRINFORMATIKAI ADATBÁZISOK STRUKTURÁLIS ÉPÍTŐELEMEI	5-46
5.1.1	Vektoros modellek	5-46
5.1.2	Raszterek	5-47
5.1.3	Topológia	5-48
5.1.4	Geoadatbázis	5-48
5.1.5	Koordinátarendszer, helymeghatározás	5-49
5.1.6	Térkép, úthálózat jellemzése	5-50
5.1.7	Szállítási igények jellemzése	5-52
5.1.8	Járatok jellemzése	5-55
5.1.9	A hulladékgyűjtő rendszer egyéb elemeinek jellemzése	5-56
5.2	AZ ALGORITMUSOK TÉRINFORMATIKAI LEKÉPZÉSE	5-56
5.2.1	Centrumkeresés	5-56
5.2.2	Gyűjtőjárat – tervezés VRP	5-57
5.3	ÁBRÁZOLÁS, ILLUSZTRÁCIÓK	5-58
5.4	A TÉRINFORMATIKAI PLATFORM BEMUTATÁSA	5-59
5.4.1	ArcGIS	5-59
5.4.2	Network Analyst	5-60
5.4.3	ModelBuilder	5-60
5.5	A SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATOK KIÉRTÉKELÉSÉNEK ELMÉLETI HÁTTERE	5-61
5.5.1	Az optimalizálás általános elve	5-61
5.6	A RENDSZERTERVEZŐ MODELL FELÉPÍTÉSE, MŰKÖDÉSE	5-66
5.7	TÉRINFORMATIKAI ALAPADATBÁZIS ÖSSZEÁLLÍTÁSA (1. FÁZIS)	5-68
5.8	A CSALÁDI HÁZAS – ÉS A TÁRSASHÁZI HÁZTARTÁSOK TERÜLETI MEGKÜLÖNBÖZTETÉSE (2. FÁZIS)	5-71

5.8.1	Szegmentálás	5-72
5.9	JÁRATTERVEZÉS (4. FÁZIS)	5-79
5.10	AZ IGÉNYEK VÁLTOZÁSÁNAK HATÁSA A GYŰJTŐJÁRATOK HATÉKONYSÁGMUTATÓIRA	5-82
5.11	AZ OPTIMÁLIS HULLADÉKGYŰJTŐ RENDSZER MEGHATÁROZÁSA ITERÁCIÓVAL	5-84
5.12	TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK	5-89
5.13	A MODELL EREDMÉNYEINEK ÖSSZEVETÉSE A HULLADÉKGYŰJTÉSI GYAKORLAT TAPASZTALATAIVAL	5-91
5.13.1	A modellben létrehozott gyűjtőrendszer jellemzése	5-91
5.13.2	A gyakorlatban alkalmazott gyűjtőrendszer jellemzése	5-93
5.13.3	A szelektív hulladékgyűjtő szigetek kiszolgálásának gyakorlatának jellemzése a modellterületen gyűjtött adatok statisztikai elemzése alapján	5-95
5.14	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK (TÉZISEK)	5-111
6	IRODALOMJEGYZÉK	6-113
7	MELLÉKLETEK	7-118
A	MODELL FELÉPÍTÉSE A TÉRINFORMATIKAI RENDSZER FEJLESZTŐI KÖRNYEZETÉNEK (MODEL BUILDER) JELKÉPEINEK ALKALMAZÁSÁVAL, VALAMINT A METÓDUSOK PYTHON - KÓDJAI	7-119
	TERÜLETI ELKÜLÖNÍTÉS (2. FÁZIS)	7-120
	SZIGETELHELYEZÉS (3. FÁZIS)	7-126
	JÁRATTERVEZÉS (4. FÁZIS)	7-131
	AZ ITERÁCIÓ ALGORITMUSA	7-135
	ITERÁCIÓVAL MEGHATÁROZOTT TERÜLETI FELOSZTÁSOK	7-137
	ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLAT	7-144
A	HULLADÉKGYŰJTÉSI GYAKORLATTAL VALÓ ÖSSZEVETÉS SORÁN HASZNÁLT ADATOK	7-150
	JELÖLÉSRENDSZER	7-152

1 Bevezetés

A hulladékhasznosítással foglalkozó szakma egyöntetű véleménye, hogy a lakosság által a háztartásokban elkülönítetten gyűjtött szilárd hulladék fontos másodnyersanyag-forrás. Az inverz logisztika egyik feladata az ilyen hulladékok gyűjtése és feldolgozóüzemekbe való eljuttatása. A hulladékgyűjtéssel foglalkozó logisztikai rendszerek működési körülményeit döntően befolyásolják a hulladékokhoz kapcsolódó törvényi előírások, melyek gyökeres átalakítása jelenleg zajlik. A hulladékról szóló új - 2012. évi CLXXXV. - törvény számos olyan előírást fogalmaz meg a háztartási hulladékok gyűjtésével foglalkozó vállalkozásokra vonatkozóan; melyek a piac teljes átstrukturálódásához; számos piaci résztvevő távozásához, illetve új versenyzők belépéséhez vezetnek. Emellett aktuális a betétdíjak 209/2005. kormányrendeletben rögzített alkalmazási szabályainak olyan módosítása is, mely a betétdíjas termékek körét a jelenleg elkülönítetten gyűjtött csomagolóanyagok felé terjesztené ki, s mely alapvetően megváltoztatná a szóban forgó anyagok hulladékainak útját a fogyasztóktól a feldolgozóig. Az átalakítások kapcsán célként került kitűzésre a hasznosítható anyagok visszagyűjtési arányának a vonatkozó Európai Uniósi irányelveknek megfelelő növelése. Az elkülönített hulladékgyűjtés új-, a kitűzött cél elérését biztosító működési kereteinek kijelölése során célszerűnek látszik a különböző gyűjtési módszerek alkalmazási területtől függő hatékonyságának vizsgálata is. Dolgozatomban ezen utóbbi foglalkozom.

A másodnyersanyagok hasznosítását elősegítő hulladékgyűjtő rendszer logisztikailag hatékony kialakításának érdekében a kiszolgálási terület jellegének leginkább megfelelő gyűjtési módszer kiválasztása szükséges. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy például családi házas övezetekben házhoz menő gyűjtőjáratok-, míg társasházak övezetekben gyűjtőszigetek révén megvalósuló gyűjtőrendszer alkalmasabb az elkülönítetten gyűjtött háztartási hulladékok feldolgozóüzembe (vagy kezelő – telephelyre való) összegyűjtésére. Az alkalmasság ebben az esetben az adott területeken a különböző gyűjtési módszerrel szervezett gyűjtőjáratok gyűjtési hatékonysága közti különbséget hivatott kifejezni, a gyűjtési hatékonyság mérőszámának pedig a gyűjtött hulladékmennyiség és a gyűjtés érdekében bejárt útvonal hosszának hányadosa [t/km] tekinthető. Településszerkezet tekintetében Magyarországon, az ún. *nőtt* települések jellemzőek. Ezek területén élesen nem választhatók el egymástól a családi házas és a társasházak jellegű településrészek. Emiatt a fentebb említett kiválasztás a különböző gyűjtési módszerek alkalmazási területeinek egymástól való olyan elhatárolását jelenti, amely esetén a (házhoz menő, illetve a gyűjtőszigetet kiszolgáló) gyűjtőjáratok összes gyűjtési hatékonysága a lehető legnagyobb.

A dolgozatomban előkészítéséhez folytatott kutatásaim során, az észak-magyarországi régióban piacvezető hulladékgyűjtő szolgáltatók által biztosított adatok birtokában kifejlesztettem egy hulladékgyűjtési rendszert tervező térinformatikai eszközt. Ez egy ESRI ArcGIS –platformon készült szoftvermodul, benne a gyűjtőrendszer-tervezés kiindulási adatait a kiszolgálási terület digitális térképi állománya, valamint a kommunális hulladékgyűjtéshez kapcsolódó szolgáltatási címpont-adatbázis képezik. Az eszköz a dolgozatban definiált peremfeltételek mellett elvégzi a vázolt terület-elhatárolási feladatot, és számszerűsíti a kedvezőtlenebb elhatárolási alternatívákhoz képest tapasztalható gyűjtési hatékonyság-növekedést. Ezek felhasználásával diszjunkt szegmensekben határozza meg azokat a területeket, melyeken a különböző gyűjtési módszerek alkalmazása a lehető legmagasabb gyűjtőjárat-hatékonyságot eredményezi. Megadja a társasházak területeken elhelyezendő gyűjtőszigetek számát, gyűjtési kapacitását, legcélszerűbb elhelyezkedését. Mindezen túl megtervezi a házhoz menő és a gyűjtőszigetekhez kiszolgáló járatokat, kiszámítja az általuk gyűjthető hulladékmennyiséget, és a gyűjtési útvonalak hosszát, ezek felhasználásával pedig meghatározza a gyűjtési hatékonyságot.

2 A korszerű szelektív hulladékgyűjtés, mint a hulladékgazdálkodás alappillére

2.1 A zártláncú gazdálkodás megteremtésének hulladékgyűjtési vetülete

A fogyasztói társadalom létszükségeit és egyéb igényeit kielégítő termékek és szolgáltatások az életciklusuk rövidülése miatt egy időszakra vetítve mind nagyobb mennyiségű hulladék keletkezését vonják maguk után. A hulladékok anyaga manapság egyrészt a nyersanyagpiacon érték, másrészt érték az energetikai szektorban is, ahol az éghető hulladékok fűtőértéke hasznosítható. A hulladékgyűjtés tehát – amellet, hogy nagyban hozzájárul a környezet védelméhez és az egészséges életfeltételek megteremtéséhez – értékteremtő tényezővé vált.

2.1.1 Szelektív hulladékgyűjtési módok jellemzése

A lakossági hulladékgyűjtés legrégebben közszolgáltatássá váló fajtája a háztartások fogyasztásának eredményeként keletkező – a köznyelven „szemét” –nek nevezett, a hulladékokkal foglalkozó szakma által települési szilárdhulladékként (TSZH) meghatározott hulladékfrakcióknak – begyűjtését, és kezelését végzi.



2-1. ábra: A hulladékkezelési lehetőségek alkalmazási preferenciái

A kezelési lehetőségek fejlesztésére irányuló törekvések célja a hulladékká vált anyagok visszajuttatása a termelési folyamatokba, vagy legalább a környezet terhelésének csökkentése. A hulladékok komplex témakörével foglalkozó Európai Unió előirányzat [38] az 2-1. ábra felsorolt műveleteket definiálja a TSZH kezelésének módjaként. Meghatározza a kezelési módok alkalmazására vonatkozó preferenciarendszert is.

A legpreferáltabb kezelési mód a megelőzés. A [38] gyártói felelősség körébe sorolja a termékek (és szolgáltatások) előállításához kapcsolódóan az olyan tervezési megoldások alkalmazását, melyek révén a termék egész életciklusa folyamán a lehető legkevesebb hulladék keletkezését eredményezi. Az ilyen tervezési eljárásokat összefoglalóan „Eco-design”-nak nevezik, részletei a csomagolás anyagának megfelelő megválasztásától a használat során szükséges segédanyagok mennyiségének csökkentésén át az elhasználódást követően keletkező hulladék mennyiségi és minőségi jellemzőinek figyelembevételéig terjednek. Egy termék, vagy szolgáltatás környezeti szempontú elemzését, az említett tervezési eljárások eredményének kiértékelését végzi az életciklus-elemzés illetve az ökolábnyom- számítás.

Ezek az eljárások szabványosított értékelési szempontrendszer, az ún. öko- indikátorok révén számszerűsítik az elemzett termékek és szolgáltatások környezeti hatásait. Az ökolábnyom – számítás az eredmények közérthetőségére törekedve terület mértékegységgé alakítja át a vizsgálatok eredményeit. Az életciklus elemzést végző szakemberek által legelterjedtebben használt öko – indikátor rendszer a CML2001, mely a következő hatáskategóriákat alkalmazza a termékek, szolgáltatások és hulladékok környezeti hatásainak kifejezésére:

- globális felmelegedésre gyakorolt hatás ([kg], CO₂ egyenértékben kifejezve)
- savasodást előidéző hatás ([kg], SO₂ egyenérték)
- eutrofizációs potenciál ([kg], foszfát –egyenérték)
- toxicitások (emberekre, vízi- és földi élőlényekre vonatkozóan [kg], DCB egyenérték)
- fotokémiai ózonképzési potenciál ([kg], etilén – egyenérték)
- ózonréteg vékonyodásra gyakorolt hatás ([kg], R11 – egyenérték)
- Erőforrások csökkenésére gyakorolt hatás [MJ]

Az újrahasználatra való előkészítés célja a termékek állapotának olyan helyreállítása (javítás, tisztítás stb. műveletek révén), mely lehetővé teszi az eredeti funkció betöltését. A hasznosítási tevékenység gazdaságosságát alapvetően befolyásolja ezen műveletek költsége, ezért ha a termék egészét nem lehetséges újrahasználatba hozni, (vagy az csak a termék értékéhez képest aránytalanul nagy ráfordítással lenne megvalósítható) akkor annak hibátlan részegységei alkatrészként is kereskedelmi forgalomba hozhatók. Ilyen tevékenységre a lakosság körében népszerű példa a használt ruhák ún. „second hand” kereskedelméhez kapcsolódik. Számos, EU- s forrásból finanszírozott K+F projekt foglalkozik az ilyen jellegű hulladékkezelő eljárások rendszerének és technológiáinak fejlesztésén, az újrahasználatóvá tehető termékek körének kibővítésének céljából. Ilyen, jelenleg is futó projekt a CERREC, mely [36]– ban összegzi például az elektromos és elektronikai készülékek-, a kerékpárok-, vagy éppen a játékok termékkörére való

kiterjesztéshez szükséges tevékenységeket, emellett körvonalazza a kiterjesztést megvalósító rendszer felépítését, és felveti a gyártók társadalmi kötelezettségvállalásának az ilyen célú rendszerek fenntartható működéséhez szükséges bővítésének lehetőségét is.

A hulladékok *hasznosítására* irányuló kezelési tevékenységeknek három alapvető változata ismert, ezek:

- *Anyagában történő hasznosításnak* nevezzük azt a tevékenységet, mely révén a hulladék anyaga olyan termelési folyamatba kerül vissza, mely abból újra terméket állít elő. Ennek legmagasabb foka, ha az így módon elkészített termék az eredetihez hasonló funkciót tölt be (pl. papírok, PET- palackok). Ennél alacsonyabb hasznosságúként értékeli [37] azokat az anyagában történő hasznosítási tevékenységeket, melyek révén a feldolgozott anyagokat kiegészítő adalékként használják fel; ügyelve arra, hogy az így előállított termék használhatóságát, mechanikai tulajdonságait ezek az anyagok ne befolyásolják hátrányosan. Ezt a fajta hasznosítást „downcycling” –nak nevezik.
- Az *energetikai hasznosítás* célja a hulladék- anyagok elégetésével hőenergia előállítása. Az erre alkalmas, magas fűtőértékű hulladékokat primer tüzelőanyaggal (földgáz, szén, stb.) együtt égetve a folyamat során a befektetettől több energia szabadul fel.
- A *mechanikai – biológiai hulladékkezelés* kétlépcsős folyamat. Az első lépcsőben a hulladékok anyagának előkezelése (feltárása) aprítás vagy darálás révén zajlik. Az így kapott aprítékot speciális körülmények közt (zárt berendezésben, vagy megfelelően kialakított halmokban, prizmákban) tárolva beindul az aerob, és/vagy anaerob bomlás, mely a folyamat második lépcsőjeként előállítja az általában mezőgazdasági célokra hasznosítható végterméket (humusz).

Visszanyerésnek azt a hasznosítási módot nevezik, amelynek során a hulladékok anyagának valamely alkotóeleme kinyerhető, feldolgozását lehetővé tevő tisztasággal. Ilyen műveletre jó példa olajszármazékok előállítása egyes, (elsősorban) klórt nem tartalmazó műanyagtermék – hulladékok pirolízise révén. A visszanyerés tehát alapvetően különbözik az anyagában való hasznosítástól, hiszen ebben az esetben a műanyagok olajokon kívüli alkotórészei nem hasznosulnak, míg az említett, preferáltabb hasznosítási mód alkalmazása esetén a hulladék minden alkotóeleme hasznosítható.

Az *ártalmatlanítás* során a hulladék veszélyességének mértékét bár csökkentik, de teljesen meg nem szüntetik. A gyakorlatban két tevékenységet végeznek ilyen céllal: a deponálást, illetve az égetést. A *deponálás* a hulladékoknak a környezettől való elszigetelt elhelyezését jelenti, műveletei a hulladék további emissziójának a lehető legnagyobb mértékű

csökkentésére vonatkoznak. A deponálásra kerülő anyagok a feldolgozóipar számára elérhetetlenek maradnak. Az *égetés* abban különbözik az energetikai hasznosítástól, hogy célja nem többletenergia előállítása, hanem – épp ellenkezőleg – energia befektetése révén az égést felhasználva úgy módosítani a hulladék anyagok tulajdonságain, hogy a folyamat során keletkező anyagok további kezelése a kiindulási anyagéhoz képest kivitelezhetőbb, költséghatékonyabb, eredményesebb stb. lehessen. Az ilyen célú folyamatok során természetesen képződik hőenergia, de annak hasznosítása nem módosítja az ártalmatlanítás helyét a preferenciarendszerben, hiszen ez elsősorban nem a hulladékból, hanem az annak égetéséhez használt energiahordozóból szabadult fel. Megjegyzendő, hogy a kor műszaki- technikai fejlettsége nagymértékben kihat a hasznosítási tevékenységekre is, ettől függetlenül kijelenthető, hogy a kezelési módok megválasztása során a leginkább az *ártalmatlanítás* elkerülése szükséges.

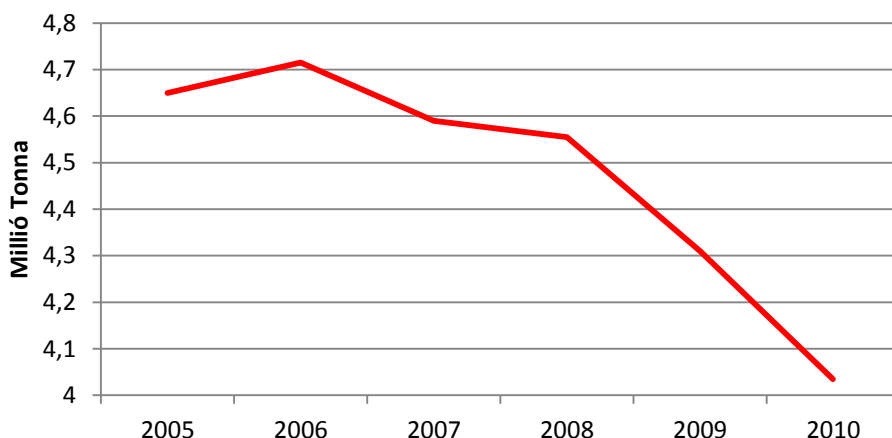


2-2. ábra: A gyakorlatban alkalmazott hulladékkezelési eljárások csoportosítása

Az egyes iparágakban előállított termékcsoporthoz egymástól eltérő módon hasznosíthatók. A termékcsoporthoz gyártóit [41] kötelezi az általuk előállított termékekből származó hulladékokról való gondoskodásra. A gyártói felelősség- elv következményeként jöttek létre Magyarországon – több más államhoz hasonlóan – a kezelést koordináló szervezetek (KKSZ). A KKSZ – ek az általuk képviselt gyártók csoportjától átvállalják az említett kötelezettséget. Tevékenységük kiterjed az adott termékkör hulladékainak gyűjtésétől a hasznosításig. A KKSZ –ek általában nem rendelkeznek a tevékenységük teljes vertikumát megvalósító technológiai berendezésekkel és egyéb szükséges erőforrásokkal, csupán koordinálják és kontrollálják a tevékenységük egyes fázisait megvalósító, speciális célfeladatot ellátó, tőlük függetlenül létező piaci szereplőket (hulladékgyűjtő, hasznosító, stb).

A legismertebb KKSZ –ek Magyarországon (a teljesség igény nélkül) az Öko – Pannon, amely a csomagolási hulladékok kezeléséért felelős, vagy az Electro – Coord, az elektromos és elektronikai hulladékok rendszerét kiépítő és működtető vállalkozás. A KKSZ – ek feladatait 2012 –től az állam által létrehozott Országos Hulladékgazdálkodási Ügynökség (OHÜ) vette át. Ez a szervezet várhatóan teljesen át fogja alakítani a hulladékok szelektív gyűjtésének jelenlegi rendszerét a betétdíjas termékek körének kibővítésével, és ezen termékkörök csomagolásainak teljes vertikumára kivetett betétdíjak bevezetésével.

A hulladékkezeléssel foglalkozó szervezetek [41] – által meghatározott jelentési kötelezettségük révén az általuk gyűjtött TSZH – mennyiségéről évente kimutatásokat készítenek a hulladékkezelésben illetékes állami szerv (KvVM) részére. Ezen adatok alapján, a magyarországi hulladékkezelő rendszerek évente átlagosan közel 5 millió tonna TSZH- t gyűjtenek össze. Megemlítenéd, hogy a lakosság körében végzett, a hulladékokkal kapcsolatos tudatformáló tevékenységek következtében az illegálisan lerakott TSZH mennyisége évről évre csökken [47].



2-3. ábra: Magyarországon évente összegyűjtött TSZH mennyiségének változása a KSH adatai alapján [34]

A legálisan gyűjtött hulladékmennyiség kezelését végző rendszer teljesítményét jellemző adatok a 2-1. ábra kategóriáinak megfelelően, [35] alapján:

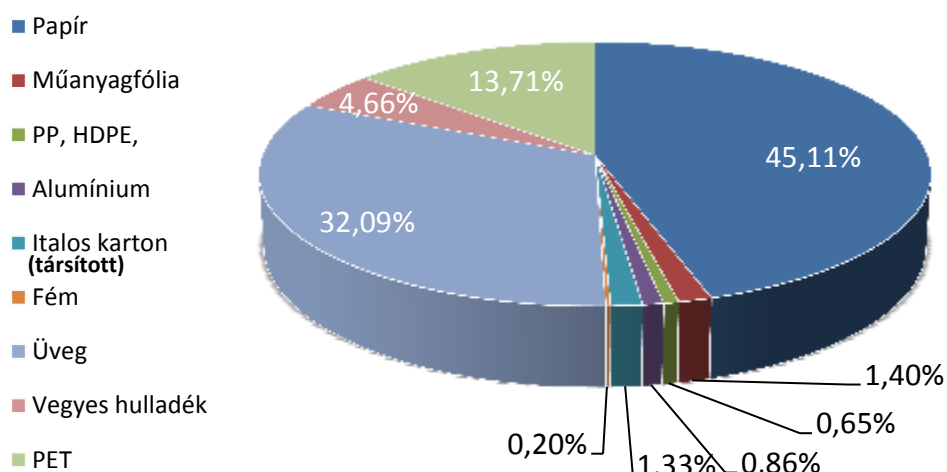
- anyagában történő hasznosítás: 15%
- energetikai hasznosítás: 9%
- lerakás: 73%
- egyéb: 3 %

Ezen értékek nem tükrözik a [38] – ban vázolt preferenciarendszernek való megfelelést. Bár az arányok módosulása a preferáltabb kezelési eljárások térnyerését mutatja, ennek ellenére a Magyarországi hulladékkezelő rendszerben a hulladéktárolókban való elhelyezés, a

deponálás dominál [39]. A hulladékok hasznosítása annál költséghatékonyabb, minél kevesebb drága előkészítő művelet előzi meg a feldolgozást, ezért a gyűjtőrendszerek célja a minél homogénebb, tisztább, és térben koncentrált hulladékhalmazok elérése. Ennek érdekében a modern gyűjtőrendszerek a hulladék keletkezési helyéhez, vagy az anyagok hulladékká válásához a lehető legközelebb kezdődnek: egyre terjednek az ipari (üzemi), vagy kereskedelmi pontokról való hulladékgyűjtést megvalósító rendszerek [40].

A fogyasztói termékek, vagy azok részei többnyire a használati életciklusuk végén válnak hulladékká. Ezek a lakosság életének különböző szinterein helyezkednek el, általában más, hasonló fázisban lévő termékek társaságában. Elhasználódásukat követően már nem óvják őket a szennyeződésektől sem- tehát az említett gyűjtési megoldások nem alkalmazhatók. A fogyasztói termékek olyan összegyűjtéséhez, mely lehetővé teszi a 2-1. ábra elveinek alkalmazását – létrejöttek a lakossági szelektív hulladékgyűjtő rendszerek.

A dolgozatomban a lakossági forrásból származó hulladékok gyűjtését szelektíven megvalósító gyűjtőrendszerek hatékonyságának növelését célozza meg. Az ilyen rendszerek főként a csomagolóanyagokhoz használt papír-, műanyag-, alumínium és üveg hulladékokat gyűjtik. Egy lakossági szelektív gyűjtőrendszert működtető közszolgáltató éves hulladékmérlegéből származó adatok alapján ez a hulladékhalmaz a 2-4. ábra szerint tartalmazza a frakciókat:



2-5. ábra: A lakossági szelektíven gyűjtött hulladék anyagi összetétele [42]

A [41] – ben definiált jelentési kötelezettség az egy éves időszak alatt gyűjtött mennyiségekre vonatkozik. Az ebben az időintervallumban kibocsátott csomagolóanyagok mennyisége pedig megadja a képződő hulladékmennyiséget. A tervezési gyakorlat tapasztalatai szerint a csomagolóanyagok az előállításuk évében hulladékká válnak [43].

2-1. táblázat: A csomagolási hulladék kezelésére vonatkozó mennyiségek (Az OHÜ 2012 –re vonatkozó előrejelzései szerint)

	Papír, Textil	Fém, Alumínium nélkül	Alumínium	Műanyag	Üveg	Fa	Társított (italos karton)	Összesen
Csomagolóanyag kibocsátás [t]	280 000	45 000	16 500	205 500	117 000	130 000	23 750	817 750
Hasznosítandó mennyiség [t]	258 500	32 852	7 800	96 000	71 000	26 000	7 400	499 552
Lakossági gyűjtés	40 282	747	2 809	21 871	36 000		1 780	103 489
Ipari gyűjtés	218 218	32 105	4 991	74 129	35 000	26 000	5 620	396 063
TSZH -ban maradó mennyiségek	21 500	12 148	8 700	109 500	46 000	104 000	16 350	318 198

A 2-1. táblázat utolsó sora mutatja a szelektív gyűjtési rendszer által el nem ért, a TSZH – részeként gyűjtött, így nem hasznosított csomagolási hulladékok mennyiségét, hulladékfrakciók szerinti bontásban. Az adatok azt mutatják, hogy lehetőség van a lakossági szelektív hulladékgyűjtésből származó csomagolási hulladékok mennyiségének emelésére a TSZH –ban maradó mennyiségek rovására. Ennek a lehetőségnek a kihasználásához a lakosság szelektív gyűjtésben való részvételének arányát javítani kell, amihez a dolgozatom révén szeretnék hozzájárulni. A cél elérése érdekében vizsgálom a részvételi arányt meghatározó legjelentősebb tényezőket. Illetve egy olyan gyűjtőrendszer – tervezési megoldást kívánok kidolgozni, mely térinformatikai eszközök igénybevételével javít ezen a részvételi arányon.

2.1.2 A lakossági szelektív hulladékgyűjtéssel kapcsolatos előírások

Az Európai Unió tagság a hulladékgazdálkodás területén is számos kötelezettséget jelent Magyarország számára. A szelektív hulladékgyűjtésre, a csomagolási hulladékok visszagyűjtésére és hasznosítására a következő előírások teljesítése érdekében van szükség:

- 1999/31/EK direktíva [44], mely a deponált TSZH szerves anyag tartalmának ütemes csökkentését írja elő. Ennek értelmében a TSZH biológiai úton lebontható összetevőit elkülönítetten kell kezelni és hasznosítani, és csak ezen műveleteket követően kerülhet sor a maradvány deponálására
- 94/62/EK direktíva [45] a csomagoláshoz használt anyagokról, mely meghatározza a csomagolási hulladékok hasznosítási arányát, azaz azt a mennyiséget, melyet a kibocsátott csomagolóanyag mennyiségéhez viszonyítva az 2-1. ábra preferált hasznosítási módjainak alkalmazásával mindenképpen hasznosítani szükséges.
- 2006/12/EC Direktíva a hulladékokról

A szelektív hulladékok gyűjtését meghatározó magyarországi szabályozási gyakorlat az alábbi törvények – és rendeletek alapján működik:

- A 2000. évi XLIII. törvény a hulladékgazdálkodásról definiálja a hulladék fogalmát, meghatározza ennek altípusait. Átfogó képet ad a hulladékok kezelése érdekében létrehozott országos rendszerekről, és rögzíti ezek működési feltételeit.
- A 94/62/EK direktíva magyarországi honosításaként a csomagolásról és a csomagolási hulladékok kezelésének részletes szabályairól szóló 94/2002. (V.5) kormányrendelet tartalmazza a mindenkor hatályos hasznosítási arányszámokat.
- 20/2006(IV.5) KvVM rendelet a hulladéklerakással foglalkozik, rögzíti a hulladéklerakókkal kapcsolatos szabályokat, illetve csoportosítja őket a bennük elhelyezhető hulladék típusa szerint.

2.2 Hulladékgyűjtés a gyakorlatban

2.2.1 Gyűjtőpontok és hasznosító művek

A hulladékgyűjtési rendszerek alapvető objektumai a hulladékgyűjtő központok és a szolgáltatási helyek (hulladékforrások). A hulladékgyűjtő központok lehetnek hulladék-feldolgozók, vagy lerakó – ártalmatlanító helyek, vagy pedig átrakók. A hulladék-feldolgozóknak a hasznosítható hulladékok válogatása, és másodnyersanyaggá való teljes, vagy részleges átalakítása történik meg. Az ártalmatlanítás célja a begyűjtött hulladékok környezetkárosító hatásának csökkentése/megszüntetése. A lerakókba (depónia) kerülnek az újra fel nem használható, és ártalmatlanított hulladékok. Az átrakók célja a hulladékok logisztikailag hatékony módon történő átszállításának előkészítése a szolgáltatási helyekről a feldolgozóba, vagy a lerakókba.

Egy hulladékgyűjtő rendszer szolgáltatási helyei azok a pontok/ponthalmazok, melyeken a hulladékok a hulladékgyűjtő edények közvetítésével a gyűjtőrendszerbe kerülnek. A szolgáltatási helyek összességének térbeli kiterjedéseként értelmezhető terület elnevezése hulladékgyűjtési rendszerek esetén a szolgáltatási terület.

A hulladékforrások és gyűjtőközpontok számossága, térbeli elhelyezkedése

A pontokkal, ponthalmazokkal jellemezhető hulladékforrások számossága és elhelyezkedése sokféle lehet. A reprezentálásukra használható térbeli geometriai alakzatoktól függően különböző matematikai módszerek léteznek a hozzájuk kapcsolódó járattervezés elvégzésére.

A matematikai módszerek alapvetően a következő két csoportba sorolható gyűjtőpontok esetében különböztethetők meg egymástól:

- Az egyik csoportba a gyűjtőpontok halmazának számosságát a gyűjtési terület kiterjedéséhez viszonyítva alacsony sűrűséggel jellemezhető, diszkrét pontokként ábrázolható szolgáltatási helyek esetén használható módszerek tartoznak, (ilyenek például a hulladékgyűjtő szigetek). A hulladékgyűjtő szigeteknek a gyűjtőrendszerben betöltött szerepét alapvetően meghatározza a hulladékfajták száma és típusa, amelyekre azok edényeket biztosítanak. A gyűjtőszigetek kapacitását pedig gyűjtőedények száma, és térfogata határozza meg. A hulladékgyűjtő szigetek a gyűjtőjáratok szolgáltatási pontjaiként elsősorban a közlekedési úthálózaton elfoglalt pozíciójukkal és a rajtuk elhelyezett hulladékok aktuális mennyiségével jellemezhetők.
- A másik csoportba tartozó módszerek pedig a gyűjtési területen nagy számban és sűrűn elhelyezett szolgáltatási helyek esetén alkalmazhatóak (pl. a családi házas területeken használt kisméretű edények ürítése). A háztartásoknál elhelyezett gyűjtőedény halmaz jellemzéséhez ebben az esetben az edények gyűjtési kapacitása és a háztartásokhoz tartozó épületek helyét meghatározó adatok használhatók fel.

A gyűjtőközpontok vagy feldolgozóhelyek/depóniák számossága hulladékgyűjtő rendszerek esetén logisztikai szempontból az általuk kiszolgálni kívánt felhasználók számától (illetve ezen felhasználók által generált hulladék mennyiségétől), valamint a központok kapacitásaitól függ.

2.2.2 Hulladéktípusok

A szilárd halmazállapotú hulladéktípusok a kezelésükkel, gyűjtésükkel összefüggésben logisztikai szempontból a következő főbb csoportokba sorolhatók:

- *Kommunális hulladék (TSZH):* a közvetlen emberi szükségletek kielégítése folytán lakossági fogyasztás által keletkezik, illetve intézményi-, kiskereskedelmi- és vendéglátó tevékenységből-, valamint köz- és magánterületek tisztán tartásából származik.
- *Szelektív(en gyűjtött) hulladék:* minden olyan hulladéktípus, mely másodnyersanyag – forrásként hasznosítható, és amelynek gyűjtése a többi hulladéktípustól (és legtöbbször egymástól is) elkülönített módon megoldható. Ilyen típusú hulladék egyaránt keletkezik háztartásokban és kereskedelmi egységeknél, vagy gyártó/szolgáltató tevékenységet folytató üzemekben is. A dolgozatban a háztartási forrásokból származó, szelektíven gyűjthető hulladéktípusok gyűjtésével kapcsolatosan végzek vizsgálatokat.
- *Speciális, ipari és/vagy veszélyes hulladékok:* gyártási melléktermékként-, vagy fogyasztási célokkal összefüggésben keletkező olyan hulladékok, melyek a

környezetre fokozottan káros anyagokat (pl. gyógyszerek, vegyszerek, olajjal, vagy egyéb kenőanyaggal szennyezett hulladékok stb.) tartalmaznak. Az ilyen típusú hulladék gyűjtése és a hozzájuk kapcsolódó egyéb logisztikai tevékenységek (rakodás, szállítás, tárolás) is speciálisak annak érdekében, hogy a veszélyes anyagnak a környezetre gyakorolt hatása minél kisebb legyen. A továbbiakban a szelektív gyűjtés fogalmát kizárólag nem veszélyes anyagokkal kapcsolatban használom.

2.2.3 A hulladékok gyűjtési módjai

A kommunális szilárd hulladékok legelterjedtebben alkalmazott gyűjtési módszere az egyes háztartásokban, vagy ipari/kereskedelmi telephelyeken elhelyezett gyűjtőedényeken alkalmazására épül, amiket a hulladékgyűjtő járművek gyűjtőjáratokba szervezetten; meghatározott időszak alatt, meghatározott alkalommal ürítenek.

A szelektíven gyűjthető hulladékok gyűjtésének a következő módszerei ismertek:

- A nem háztartásokban keletkező (ipari, vagy kereskedelmi eredetű) szelektív hulladékokat a szolgáltatási helyeket a feldolgozóközponttal közvetlenül összekötő céljáratokkal gyűjtik. Mivel az ipari/kereskedelmi források hulladékainak keletkezési intenzitása (az időegység alatt keletkező hulladék mennyisége) a háztartások esetén tapasztalhatóhoz képest magas, illetve az adott szolgáltatási ponton a gyűjtőedény telítettsége nyomon követhető, ezáltal az ürítési igény szükségessége megfelelő időpontban jelezhető, ezért a nem háztartási eredetű szelektív hulladékok hatékonyan üzemelő céljáratokkal kiszolgálhatók.
- A háztartási (vagy ahhoz hasonló) eredetű szelektív hulladékok gyűjtésének egyik elterjedten alkalmazott esete, amikor a gyűjtést végző járművek a szolgáltatási pontokat egyenként felkeresik az ott elhelyezett gyűjtőedények ürítése, vagy gyűjtőzsákok elszállítása céljából. Ebben az esetben a kommunális hulladékgyűjtés során alkalmazottakkal megegyező elvek szerint működő járatokra van szükség.
- A szelektíven gyűjthető hulladéktípusok másik gyűjtési lehetősége a nagykapacitású gyűjtőedény csoportok (ún. gyűjtőszigetek) közterületekre való kihelyezése. Ebben az esetben a gyűjtőjárművek ezen szigetek tárolóinak ürítését végzik gyűjtő – körjáratokba szervezetten.

A háztartások szelektív hulladékainak gyűjtését megvalósító járatok teljesítménymutatóinak értékei (pl. gyűjtési úthossz/gyűjtött mennyiség) és az ipari hulladékokat gyűjtő járatok hasonló mutatóinak értékei közti különbség egyik oka a háztartási eredetű hulladékokat gyűjtő edények telítődésére vonatkozó információk hiánya. Az egyes gyűjtőedények telítettsége, és az ürítés időpontja között on-line monitorozás révén összefüggés létesítése

[25, 26] azonban csak az egyik lehetősége a hulladékgyűjtő rendszerek hatékonyságnövelésének. A további lehetőségekkel a szakirodalomra alapozva foglalkozom a dolgozat következő szakaszaiban.

2.3 A szakirodalom áttekintése

2.3.1 A szelektív hulladékgyűjtő rendszerek jellemzése

C Garce, S Alberto és társai [21] tanulmányukban statisztikai eszközökkel szocio – demográfiai elemzést végeztek azon tényezők felderítése érdekében, melyek a leginkább befolyásolják az emberek háztartási hulladékok szelektív gyűjtéséhez való viszonyát. Ebben a legmagasabb negatív előjelű faktorról (-0,31) számszerűsítik a távolság hatását a lakosság szelektív gyűjtésre való hajlandóságára. A lakóhelyektől távolabb elhelyezett gyűjtőkonténerek problémájának fontosságát hangsúlyozza ez az érték, mivel a szerzők az általuk meghatározott (-1 től 1- ig terjedő) skálán mérve a lakosság kiemelkedő környezettudatosságát mindössze 0,25 –ös pozitív értékkel jellemzik. Kicsit leegyszerűsítve tehát [21] üzenete az, hogy távoli gyűjtőkonténerbe még a nagy környezeti érzékenységgel jellemezhető háztartások szelektíven gyűjtött hulladéka sem jut el. Ez a megállapítás inspirációt jelentett számomra a dolgozat témájának megválasztásában.

A különböző területeken már mintegy másfél évtizede működő lakossági szelektív gyűjtő rendszerek hatékonysági elemzésével, környezeti monitoringjával és fenntarthatósági vizsgálatával foglalkozik a J.R. Bringhami és munkatársai által készített [1] tanulmány. Ez a hulladékok szelektív gyűjtését végző szolgáltatással való ellátottságot az első helyen jelöli meg azon indikátorok rangsorában, melyek hozzásegítik a szóban forgó rendszereket a gazdaságos működéshez. Az ellátottsági fok mérőszáma ebben a tanulmányban [21] –gyel megegyező módon a ránhordási távolság.

Térinformatikai tervezőeszközt vesz igénybe G. Tavares, Z. Zsigraiova, V. Semiao és M.G. Carvalho a [46] munkájában TSZH – ok új gyűjtőjárat-tervezési módszerének kidolgozásához. Ebben a térinformatikát a tervezett gyűjtőrendszer szolgáltatási területének 3 dimenziós leképzésének kezeléséhez használják. A domborzati viszonyok magassági koordinátáit is figyelembe vették a szállítási útvonalat meghatározó algoritmusukban. Ezáltal lehetőségük nyílt a gyűjtést végző járművek üzemanyag-fogyasztását az optimális eljárásuk célfüggvényeként meghatározni. A kidolgozott járattervezési módszer alkalmazásával megvizsgálták két, jellegében eltérő modellterület gyűjtőjárait, s megállapították, hogy a hagyományos 2 dimenziós leképzésen alapuló (minimális úthosszt bejáró) gyűjtőjáratok 8-16% – kal több üzemanyagot fogyasztottak, mint az általuk kidolgozott eljárásokkal definiált gyűjtési utakat bejárók.

Az általam kidolgozott gyűjtőrendszer-tervezési megoldás abban tér el a szakirodalomban fellelhető példáktól, hogy megkülönbözteti egymástól az eltérő épülettípusokkal jellemezhető kiszolgálási területeket, ezáltal a 2.2.3 fejezetben vázolt módon, más- más elvek szerint szervezi a különböző területek kiszolgálását.

2.3.2 Gyűjtőjárat – tervezési megoldások

Az aszimmetrikus utazó ügynök problémából származtatható a szállítókapacitással jellemezhető járművek járattervezési problémája. Ennek megoldásaként előállítható járattervezési eljárást alkalmaznak a leggyakrabban hulladékgyűjtő járatok tervezésére. A gyakorlati alkalmazások rendszerint nagyszámú kiszolgálási pontra vonatkoznak, ezért a szakirodalomban számos heurisztika található az NP nehéz probléma közelítő megoldására.

Ezek a heurisztikus algoritmusok minden kiszolgálási pont esetében ismertnek tekintik a gyűjtőedények telítettségét. Ennek technikai hátterét telemetriát alkalmazó monitoring-rendszer biztosíthatja. Az ilyen, a gyűjtőedények ürítéskori telítettségét jelző rendszer alkalmazása az egyértelmű előnyeinek elismerése mellett is meglehetősen drága, ezért olyan területeken építették ki a gyakorlatban, melyek lakossága elsősorban vagy

- kevésbé költségérzékeny, (mint a Shanghai Pudong új terület lakói [25]),
- fokozottan környezettudatos, mint a svéd Malmö – környéki szelektív hulladékgyűjtő rendszer szolgáltatási területén élők [26].

A fenti tanulmányok által vázolt gyűjtőrendszerek létesítésének célja a mintarendszerként való ismeretszerzés volt a hulladékok keletkezési intenzitásának időszakos változásaira vonatkozóan. A. Rovetta és munkatársai [25]- ben kiemelik, hogy a jelentős beruházási költség akkor térülhet meg, ha a mérőeszközök információit hasznosítani tudó háttérrendszerek (real-time monitoring, historikus adatokon alapuló előrejelzés stb.) együtt tudnak működni a hulladékgyűjtő rendszer hatékonyságának növelése érdekében. A konténerekből ürített hulladékok mennyiségétől függő díjazás bevezetése a kulcs [26] szerzője, Ola M Johansson szerint az aktuális konténertelítettségén alapuló dinamikus járatútvonal – tervezés elterjedéséhez. Kiemeli, hogy dinamikus tervezéssel a gyűjtés hatékonysága az előre elkészített tervekkel elérhető eredményekhez képest magasabb. Attól függetlenül igaz ez, hogy a megfigyelései szerint a statikus tervezés mennyiségre vonatkozó bizonytalanságai nagyszámú gyűjtőedény eseték kiegyenlíthetik egymást. A dinamikus tervezés legnagyobb erényeként [26] a váratlan helyzetekhez (mint pl. nagy mennyiségű hulladéknak az ürítési ütemtől eltérően időzített megjelenése valamely gyűjtőponton) való alkalmazkodóképességet jelöli meg.

Ha rendelkezésre állnak az egyes szolgáltatási pontokról elszállított hulladék mennyiségi adatai, akkor kézenfekvő ennek figyelembevétele a hulladékszállítási díj megállapításakor. A hulladékgyűjtés mennyiségfüggő díjazásának kialakításával kapcsolatban Szilágyi L. [32] megállapítja, hogy a díj kalkulációja során figyelembe kell venni, hogy a díj ösztönözzön a hulladék mennyiségének csökkentésére. Ennek érdekében két díjkomponens alkalmazását tartja célszerűnek: az alapidjét, melyben a rendszerhasználat fix költségei jelennek meg, illetve az ürítési díjét, mely pedig lehetőséget biztosít az arányosításra.

J.-M. Belenguer és munkatársai [27] a családi házas területeken történő hulladékgyűjtés tervezésére alkalmazható heurisztikus megoldások algoritmusait hasonlították össze. Felhasználták azt a tényt, hogy a relatíve kis területen, egymáshoz képest közel elhelyezkedő háztartási gyűjtőkonténerek kiszolgálásakor sokkal inkább az utcák alkotta gráf-élek kiszolgálása történik, mint különálló gyűjtőpontok egymás után történő felkeresése.

- A *nyomkereső heurisztika* alkalmazása során a kiszolgálási terület utcáit egyenként hozzáadva építették fel a járművek szállítókapacitásának megfelelő járatútvonalakat. Ennek során a jármű kapacitásának feléig olyan utcákat válogattak, melyek a központ felkeresésének költségét minél jobban növelték (tehát attól távolodtak), a szállítókapacitás felén túllépve pedig olyanokat, amelyek ezt a költséget csökkentették (azaz közeledtek a hulladékkezelő központ felé).
- Elemezték a *kiterjesztett összefésülés* módszerét is, melynek lényege a járatútvonalak többlépcsős felépítése. Egy járat útvonalának kiépítése során, amennyiben két kiszolgálni kívánt utca összekötésére van szükség, ehhez olyan utcát keres az algoritmus, melyet ugyancsak ki kell szolgálni. Ezzel minimalizálja az üresjáratot (kiszolgálás nélküli bejárás) kapcsolódó költségeket. A már kidolgozott járatútvonalakban leellenőrzi, hogy az előző lépésben létrehozott utcakapcsolatok szerepelnek-e az üresjáratokról vezetett listában. Ha igen, és a (már kidolgozott járatútvonalhoz tartozó) jármű kapacitása is engedi, úgy az aktuálisan kidolgozott utcakapcsolatot beilleszti a megtalált járatútvonalba. Az eredeti útvonalat pedig más utcakapcsolatokkal bővíti, majd a kidolgozott járatútvonalak összefűzésével próbálkozik: járatútvonal-párokat képez a járművek kapacitáskorlátainak figyelembe vételével úgy, hogy a párok egyikének legutolsó-, a másiknak pedig a legelső utcája (íve) között keres legrövidebb üresjáratú utakat.
- A [27] tanulmány által a vázolt problémakörben megvizsgált következő heurisztika az *Ulusoy* –által kidolgozott megoldáson [28] alapul, amely szerint az algoritmus először a járművek gyűjtőképességét mellőzve hoz létre egy, az összes utcát kiszolgáló minimális körutat, majd azokat osztja fel konkrét járatokra, a járművek kapacitásainak

megfelelően. A felosztás során kiegészítő gráfot használ, mely a már létrehozott körút által definiált kiszolgálási sorrendet tartalmazza.

- A [27] – ben egy további vizsgált heurisztika a *memetic algoritmus*, amit Lacomme és munkatársai dolgoztak ki, és amit [29] –ben az élek bejárására (kiszolgálására) vonatkozó leghatékonyabb algoritmusként publikáltak. Ez lényegében *helyi keresést* és *genetikus algoritmust* tartalmazó hibrid heurisztika. Alapgondolata két ponton egyezik az *Ulusoy* – megoldásával:
 - egy kromoszómaként kezeli az összes utcát kiszolgáló nagy körút egy lehetséges kiszolgálási sorrendjét. A kromoszómák következő generációja az utazó ügynök problémájához kifejlesztett sorrendcsere révén leírható mutációval származtatható,
 - a nagy körutak járatutakra való felosztása során ugyanazokat az algoritmus – lépéseket alkalmazza.

[27] szerzői egy kitűzött gyűjtési feladat megoldására való alkalmasság szemléltetésére különböző méretű mintaadatbázisokra a [30]- ban mutatnak be példákat. Ebben az egzakt *vágósíkok módszerével* határozták meg a minimális körutak elméleti alsó határait. Ezekkel hasonlították össze az algoritmusaikkal meghatározott eredményeket. Az összehasonlítás azt mutatta, hogy a vázolt heurisztikák az elméleti minimumokhoz képest maximum 0,5% szórással jellemezhető megoldásokat szolgáltattak, tehát alkalmasak a vázolt célú járattervezések elvégzésére.

A P. Toth és D. Vigo által szerkesztett mű [31] jó összefoglalást ad az olyan járattervezési feladatok esetén alkalmazható algoritmusokról, amelyek a szelektív hulladékgyűjtő szigetek kiszolgálásának optimalizálására is alkalmasak. Ezek legfőképp abban különböznek az előző művektől, hogy nagyobb területen eloszló, pontszerű objektumok véges gyűjtőkapacitású járművekkel való kiszolgálása a feladatuk. A [31] szerzői az ilyen feladatok megoldására irányuló egzakt eljárásokat a következő csoportokba sorolták: korlátozás és szétválasztás, korlátozás és vágás, halmazfedési algoritmusok, illetve ezektől megkülönböztették a közelítő megoldásokat szolgáltató heurisztikákat és metaheurisztikákat. A [31]- ben G. Laporte és F. Semet megkülönbözteti

- a megoldásokat lépcsőzetesen felépítő, a költségek minimalizálását *Greedy* elvek mentén – azaz minimális feszítőfa alkalmazásával – végző algoritmusokat,
- a kétlépcsős metódusokat, melyek a szállítókapacitás szerinti felosztást, és a minimális költségű járatútvonalak kidolgozását külön – külön és más – más sorrendben végzik,
- illetve a kezdeti megoldásból kiinduló, azokat a szomszédai közt keresésen alapuló tökéletesítés révén fejlesztő módszereket. Ezek közé sorolja a metaheurisztikákat is,

melyek közül jelentősége és használhatósága tekintetében kiemeli a *hangyafarmot*, mint a raj-intelligencia egyik jeles képviselőjét.

A [33] szerzői, M. Dorigo és társai a szállítókapaacitással jellemezhető járművek járattervezési problémájának megoldását a raj-intelligencia, ezen belül a hangyafarm-optimalizálási metódus egyik lehetséges alkalmazási területként jelöli meg. A hangyafarm központi gondolata, hogy hangyák hatékony munkavégzéséhez jelentősen hozzájárul az élelem és a boly közt húzódó, mindenkor legrövidebb útvonal nyilvántartása. Ezt a nyilvántartást a rovarok feromon kiválasztása révén tartják karban. A legrövidebb utat több hangya használja, rajta tehát a feromon – koncentráció nagyobb, mint az összes többi úton. Az ennek megfelelően kialakított algoritmus útválasztásra vonatkozó döntési szituációját (2.1) összefüggés adja:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\gamma_{ij}]^\beta}{\sum [\tau_{ij}(t)]^\alpha [\gamma_{ij}]^\beta} & \text{ha } j \text{ csúcs nem bejárt} \\ 0 & \text{ha } j \text{ már bejárásra került} \end{cases} \quad (2.1)$$

ahol:

k – a hangyákat azonosító sorszám,

$p_{ij}^k(t)$ - annak valószínűsége, hogy az i . után a j . csúcs következik,

$\tau_{ij}(t)$ - az ij szakasz feromon intenzitására jellemző heurisztika,

γ_{ij} - az ij távolságával fordítottan arányos heurisztika,

α és β - a két heurisztika hatásának kombinációját meghatározó faktorok.

A [33] szerzői megállapítják, hogy a TSPLIB- minták esetében (kis és közepes adathalmazokon) a hangyafarm algoritmus maximum 10% - os javulást eredményez a [31]- által említett eljárásokhoz képest. Nagy adathalmazok esetén azonban az algoritmus elveszti ezt az előnyét, sőt, nem megfelelően előkészített paraméter – beállításokkal a futási idők nagysága lehetetlenné teszi az eljárás alkalmazását.

A Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszékén (ME ALT) Gubán M. késleltetett összeszerelő üzemek telepítését logisztikai szempontból vizsgálta [51]. Az alkatrészek beszállításához-, illetve az üzemek közti szállításokhoz kapcsolódó költségeket a telepítési helyszínek kiválasztását, illetve az egyes beszállítók és alkatrészek üzemekhez való hozzárendelését elvégző célfüggvény egyik összetevőjeként vette figyelembe. Kidolgozott egy háromfázisú heurisztikus algoritmust a célfüggvény értékének minimalizálására, és érzékenységvizsgálatot hajtott végre a célfüggvény összetevőire

(többek közt a szállítási költségekre) vonatkozóan. Az érzékenységvizsgálat eredményei szerint a kidolgozott algoritmus a szállítási költség jelentős változására sem érzékeny. Ennek okaként azt jelöli meg, hogy a probléma megoldása során figyelembe vett költségek (összeszerelési ktg, raktározási ktg., telepítési ktg.) összegéhez viszonyítva a szállítási költség mindössze mintegy 6% -os részarányt képvisel. Ugyanakkor arra következtet, hogy amennyiben ezek részaránya a teljes költséghez viszonyítva nagyobb, úgy a szállítási költségek változása alapvetően befolyásolhatja a telepítési elrendezést.

A ME ALT két kutatója, Bányai T. és Kota L. genetikus algoritmus logisztikai felhasználásával foglalkoztak [55] és [56] munkájukban. Az utóbbi mű genetikus algoritmust felhasználva hoz létre felügyeleti és karbantartási feladatokhoz kapcsolódó objektum-szakértő hozzárendeléseket. A Kota L. által figyelembe vett célfüggvény részét képezi a szakértők által megtett út hosszának a minimalizálása. Az általa kidolgozott heurisztikus algoritmus lokális, valamint kromoszómák közötti globális operátorokat használ a körutak elkészítésére, a megoldásokat reprezentáló egyedek jóságát pedig büntetőfüggvények segítségével határozza meg. Kota L. a módszerének továbbfejlesztési lehetőségeit taglalva felhívja a figyelmet az algoritmus számításidejének nagyságára, amennyiben nagyszámú szakértő, vagy kiszorgálandó objektum alkotja a megoldandó feladatot. Megoldási lehetőségként a számítási műveletek párhuzamosítását veti fel.

A ME ALT ezen kutatási eredményeinek ismerete nagymértékben meghatározta a dolgozatom elkészítéséhez kapcsolódó kutatásaim irányát. Ezen dolgozatok megállapításaival összhangban

- együtt vizsgáltam a hulladékgyűjtő szigetek célszerű elhelyezését a köztük megvalósítandó gyűjtőjáratok minimális útvonalának meghatározásával,
- foglalkozom a szolgáltatási terület partícionálásának lehetőségeivel.

Az előbbi lehetővé teszi, hogy a hulladékgyűjtő rendszerek tervezése során szükséges minél több tényezőt figyelembe vegyek a kidolgozott rendszertervező modellben, az utóbbi pedig lehetőséget nyújt az egyszerre megoldandó probléma méretének csökkentésére.

3 Szelektív hulladékgyűjtő logisztikai rendszerek

3.1 Területi interpoláció, szegmentálás

3.1.1 Raszterműveletek

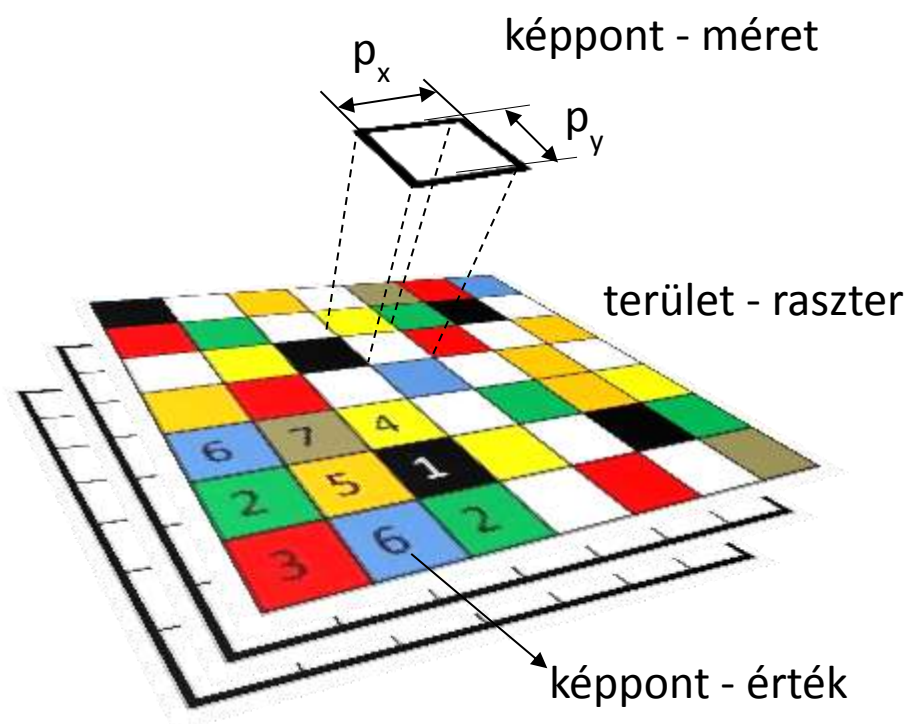
Egy hulladékgyűjtő rendszer alapvető adatai a hulladékgyűjtő edények elhelyezkedését és gyűjtési kapacitását tartalmazó mátrixok formájában adhatók meg. Ha a hulladékgyűjtő rendszer szolgáltatási területét alkalmasan megválasztott méretű területegységekre bontjuk a gyűjtőedények elhelyezkedésének leírásához, akkor a területegységeket az egymáshoz viszonyított elhelyezkedésüknek megfelelően tartalmazó mátrix segítségével a rendszer jellemezhetővé válik. A mátrix elemeiben a pontszerűnek tekintett edények kapacitására jellemző értékek szerepelnek:

$$V(i, j) = \begin{bmatrix} v_{11} & & v_{1N} \\ & v_{ij} & \\ v_{M1} & & v_{MN} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

ahol v_{ij} az adott pozícióban elhelyezkedő gyűjtőedény méretét adja meg.

A területek (ebben az esetben a 3-1. ábra rétegeinek száma 1, a leképezés kétdimenziós), vagy felületek (ebben az esetben a 3-1. ábra rétegeinek száma egynél nagyobb, a leképezés 3, ill. több dimenziós) ilyen megközelítésű, rétegenként történő ábrázolására az ún. rácsos (raszteres) megjelenítés alkalmazható. A terület ábrázolási részletességét az területegységek választott mérete határozza meg. Az egységnyi területen elhelyezkedő ilyen egységek számát a raszter *felbontásának* nevezzük [24].

Az így felépülő táblázatok képi megjelenítésre jól alkalmazhatóak. Ebben az esetben a területegységek a képpontok, az ezekből felépülő teljes kép pedig a szolgáltatási terület vizuális leképezésének tekinthető.



3-1. ábra: 7*7 –képpontból álló rácson (raszteres) terület – megjelenítés

A raszteres megjelenítés során a szolgáltatási területet ábrázoló kép képpontjainak értékeit (színeit) a következő összefüggéssel definiálom:

$$M_i^{(x,y)} = \sum_{j=1}^n T_{ij} V_j^{(x,y)} \quad (3.2)$$

ahol:

M_i - a raszterek (x,y) pozíciójának színkomponensei, $(i \in Z^+)$

n - a megjelenítendő rétegek száma,

V_j - a j. réteget alkotó raszter (x,y) pozíciójának képpont- értéke (a gyűjtőedény – méreteket tartalmazó mátrix megfelelő celláinak értékei)

T_{ij} - a transzformációs mátrix elemei, melyek megadják, hogy a j. rétegen melyik színkomponens (i) alkalmazandó,

Z^+ - a pozitív egész számok halmaza.

Területmegjelenítés esetén csak egy réteg használatos, így a T – transzformációs mátrix egy vektorrá alakul. Ha a képpontok által felvehető értékek végesek, akkor T – t egy táblázatban szokás megadni, ahonnan a képpontok értékei (színei) a megjelenítés során egyszerű keresőfüggvénnyel megállapíthatók. Azon képpontok, amelyek nem tartalmaznak értéket általában a háttérrel megegyező-, vagy egyéb semleges színűek.

Mivel a szolgáltatási terület fentebb vázolt reprezentációja során a területegységeket jelentő cellák nagy része üres (mert többségükben nincs hulladékgyűjtő edény), ezért a térképszerű megjelenítés érdekében ezekhez a környezetük által megszabott módon értéket szükséges rendelni. Ehhez a hozzárendeléshez az alábbi konvolúciós összefüggést alkalmazom:

Folytonos esetre érvényes általános leírás:

$$V_t^K = \int_{-\infty}^{\infty} V(t)G(x-t)dt \quad (3.3)$$

a feladatnak megfelelő diszkrét esetben:

$$V_t^K(n, m) = \sum_{i=-A}^A \sum_{j=-B}^B V(n+i, m+j)G(i, j); \quad (3.4)$$

$$n = 1 + A, \dots, N - A; \quad m = 1 + B, \dots, M - B$$

ahol:

V_t^K - a konvolúciós eljárás eredményeként kapott mátrix, melyben a szolgáltatási terület területegységeinek mindegyikéhez a környező területegységek által meghatározott érték tartozik,

V - a területegységek eredeti mátrixa, melynek cellái a hulladékgyűjtő konténerek méretét tartalmazzák, vagy üresek (amennyiben azon a helyen nincs gyűjtőedény),

G - a konvolúciós mátrix, amely biztosítja a szolgáltatási terület pontjaihoz a G mérete által rögzített méretű környezetükben elhelyezkedő szomszédos pontok értékétől függő értékek hozzárendelését

A, B - a G konvolúciós mátrix méretét ($2A$ db oszlop, $2B$ db sor) meghatározó értékek,

N, M – a szolgáltatási területet leíró raszter méretét (N db. oszlop, M db. sor) meghatározó értékek.

3.1.2 Szegmentálás képfeldolgozási eljárások során alkalmazott módszerek felhasználásával

A családi házas és társasházaz övezetek egymástól való elkülönítése érdekében a (3.4) összefüggéssel kapott K_t mátrix celláit az értékeiktől függően 2 csoportra szükséges osztani. Ez a művelet a képfeldolgozásban szegmentálásként ismert. A szegmentálás egy kép céltudatos részekre bontását jelenti, ezáltal érhető el az, hogy különböző jelentésű képrészeket egymástól függetlenül lehessen kezelni. A szegmentálás sajátsgvektorok értékeinek összehasonlítása alapján hozott döntés, mely szerint, ha két- vagy több

sajátságvektor elegendően hasonlít egymásra, akkor ugyanabba a szegmensbe tartoznak [18].

A szegmentálást az alább definiált jellemzők segítségével végzem:

- Sajátságvektor s : a szegmentálási feladat szempontjából lényeges tulajdonságokat tartalmazó vektor. A feladat megoldása során alkalmazott sajátságvektor elemeinek száma egy (azaz a sajátságvektor skalárrá degradálódik), értéke pedig megegyezik a V_t^K mátrix megfelelő cellájában szereplő értékkel.
- Szegmentálási távolság d : sajátságvektorok távolsága a sajátság térben, mely előre meghatározott távolságfüggvénnyel mérhető. A feladat megoldása során távolságfüggvényként iterációnként egy meghatározott (k_s) küszöbérték, és a sajátságvektor értékének különbségét használom.

$$d_s = k_s - s_s \quad (3.5)$$

ahol:

k_s - a küszöbérték, melyhez képest meghatározom a szegmentálási távolságot. k a konvolúciót követő osztályozás céljától függ. k értékét a dolgozatomban a hulladékgyűjtő edények térfogatához illeszkedve határozom meg, így értéke 60-tól 1100-ig változhat.

s_s - a sajátságvektor

d_s - a szegmentálási távolság, melyet a következő művelethez, az osztályozáshoz használok fel

- Döntésfüggvény: ez a szegmentálás alapja, amely révén az egymáshoz a szegmentálási távolság szempontjából közeli-, és a térképen is egymás környezetében lévő pontok egy szegmensbe tartoznak.

Osztályozás: a feladat megoldása során azokat a pontokat, amelyek esetén a távolságfüggvény értéke 0, vagy ennél nagyobb – az egyik csoportba, az összes többit pedig a másik csoportba sorolom:

$$\begin{aligned} \forall v_{ij}^K \in V_{s1}: v_{ij}^K &\leq k_s \\ \forall v_{ij}^K \in V_{s2}: v_{ij}^K &> k_s \end{aligned} \quad (3.6)$$

ahol:

v_{ij}^K - a szolgáltatási területet leíró mátrix elemei a konvolúciót követően

V_{s1} : az a csoport, melybe azok a terület egységek tartoznak, melyekhez hozzárendelt érték a küszöbértéktől kisebb, vagy azzal egyenlő. A később bemutatásra kerülő rendszertervező modellben ez a csoport tartalmazza a családi házas háztartásokat.

V_{s2} : az a csoport, melybe azok a területegységek tartoznak, melyek értékei a küszöbértéktől nagyobbak. A később bemutatásra kerülő rendszertervező modell ebbe a csoportba sorolja a társasházak háztartásait.

A szegmentálás eredménye tehát olyan adatstruktúra, mely a szolgáltatási terület térképének részeit kapcsolja össze, vagy különíti el egymástól az előzőekben leírt mechanizmusok alapján. Az eredeti térkép területe a (3.6) összefüggésben szereplő két diszjunkt csoport szegmenseinek összeillesztésével kapható meg.

3.2 Centrumkeresés a szigetek pozícióinak kijelölése érdekében

A hulladékgyűjtő szigetek pozícióinak megfelelő meghatározása érdekében figyelembe kell venni, hogy a szolgáltatást igénybevevő háztartásoknak mekkora utat kell megtenniük ahhoz, hogy hulladékukat a gyűjtőedénybe tehessék. Ez a mérőszám a hulladékgyűjtés terminológiájában *ráhordási távolsággént* (s_r) ismert. A gyűjtőszigetek elhelyezéséhez a centrumkeresés nevű eljárást alkalmazom, amely eljárás során a gyűjtőszigeteket tekintem a keresett centrumoknak, az anyagáramok forrásai pedig a szigetekhez rendelt háztartások.

Az egy sziget elérésére vonatkozó átlagos ráhordási távolság a következő módon határozható meg:

$$\bar{s}_r = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n} \quad (3.7)$$

ahol:

s_i - egy háztartás távolsága a gyűjtőszigettől,

n - az adott gyűjtőszigethez rendelt társasházak száma.

Az eljárás célja az átlagos ráhordási távolság ($\bar{s}_r$) minimalizálása egy hulladékgyűjtő sziget esetén. Az iteráció kiindulási pontja (azaz egy gyűjtősziget elhelyezkedését leíró bázis koordináták) a rendszer anyagáramlási súlypontjának koordinátaival egyeznek meg (s_0):

$$s_{x0} = \frac{\sum_{i=0}^n x_i q_i}{\sum_{i=0}^n q_i} \quad (3.8)$$

$$s_{y0} = \frac{\sum_{i=0}^n y_i q_i}{\sum_{i=0}^n q_i}$$

$$s_0 = \{s_{x0}; s_{y0}\}$$

Az iterációs lépések során a bázis koordinátákat, vagy az előző iterációs lépéssel meghatározott koordinátákat felhasználva kapjuk a gyűjtőszigetek aktuális koordinátáit a következő összefüggéssel:

$$\begin{aligned} a &= \sum_{i=0}^n \frac{x_i q_i}{\sqrt{(x_i - s_{x0})^2 + (y_i - s_{y0})^2}} \\ b &= \sum_{i=0}^n \frac{y_i q_i}{\sqrt{(x_i - s_{x0})^2 + (y_i - s_{y0})^2}} \\ c &= \sum_{i=0}^n \frac{q_i}{\sqrt{(x_i - s_{x0})^2 + (y_i - s_{y0})^2}} \\ s_1 &= \{s_{x1}; s_{y1}\} = \left\{ \frac{a}{c}; \frac{b}{c} \right\} \end{aligned} \quad (3.9)$$

(3.8) és (3.9) összefüggésekben:

i - a háztartások száma,

x_i és y_i - a szigethez rendelt i . háztartás koordinátái,

q_i - az i . háztartás által a szigetre vinni szándékozott hulladékmennyiség.

Az aktuális iterációs lépéssel számított- és a korábbi koordináták közti különbséget felhasználva definiálható az iteráció i lépésével a centrum irányába megtett távolság (t_i):

$$\begin{aligned} (\Delta s_x; \Delta s_y) &= (s_{x1}; s_{y1}) - (s_{x0}; s_{y0}) \\ t_i &= \sqrt{\Delta s_x^2 + \Delta s_y^2} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Az iteráció leállási feltételeként egy; erre a t_i távolságra meghatározott küszöbértéket (t_k) célszerű alkalmazni:

Ha $t_i > t_k$ az iteráció folytatódik, és amennyiben $t_i < t_k$ az iteráció leáll. Az ilyen iterációval a centrumot minimum t_k távolságra közelítjük meg. Az iteráció elvégzéséhez szükséges idő t_k függvénye, ezért a küszöbértéket alkalmasan kell megválasztani.

A hulladékgyűjtő rendszerek szolgáltatási területeinek kiterjedtsége miatt általában több gyűjtősziget kihelyezése szükséges. A szükséges hulladékgyűjtő szigetek száma (a szigetek konténereinek azonos gyűjtési összkapacitását (c_{sz}) feltételezve) a vizsgált területen az ürítési időpontok közt keletkező hulladékok mennyisége alapján a következő összefüggéssel határozható meg:

$$p_{sz} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{c_{sz}} \quad (3.11)$$

Ahol:

p_{sz} - a szolgáltatási területen elhelyezni szükséges gyűjtőszigetek száma.

A szigetek elhelyezéséhez tehát a terület háztartásait a meghatározott p_{sz} - számú csoportba kell sorolni (a háztartások szigetekhez való hozzárendelése) és a centrumkeresést az egyes csoportok mindegyikére külön- külön el kell végezni.

3.3 Járattervezés a hulladékgyűjtési rendszerekben

3.3.1 A járattervezés logisztikai megközelítése

A [49] és [53] szakirodalom összefoglalja a járattervezés elméleti hátterét, amely szerint a szállítási relációk közötti anyagmozgatás irányától függően a tervezésük során célszerű megkülönböztetni az elosztójáratokat, gyűjtőjáratokat valamint gyűjtő- és elosztójáratokat. Elosztójáratokról akkor beszélünk, ha a forrásokból a nyelők felé történő szállítási relációk valósulnak meg, míg a gyűjtőjáratok esetén az anyagmozgatás iránya a forrásoktól a nyelők felé mutat. A gyűjtő- és elosztójáratok egyszerre valósítják meg ezeket az anyagmozgatási feladatokat.

Hálózatleírás

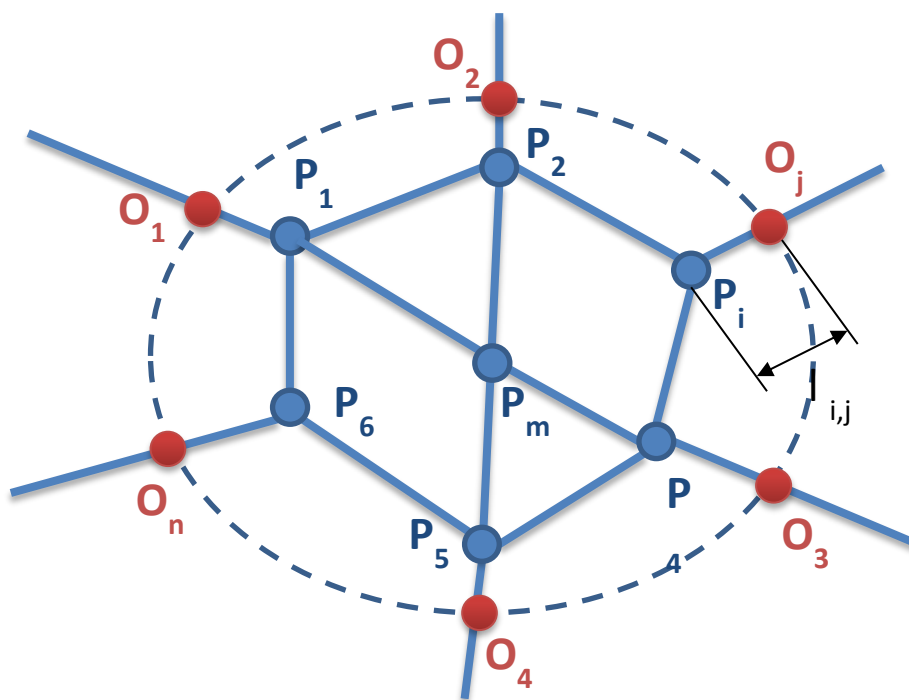
A hulladékgyűjtés logisztikai hálózatra alkalmazható matematikai modelljeit a gráfelméletre alapozhatjuk. A vizsgált valós rendszerben található objektumok a következők:

- a szállítási úthálózat (távolságok, kapcsolatok),

- a szolgáltatási helyek (szelektív gyűjtőszigetek) és jellemzőik (hulladékfrakciók és mennyiségek) a szállítási úthálózaton értelmezve,
- a gyűjtést végző járműpark és jellemzőik,
- a hulladékkezelő rendszer objektumai és jellemzőik a szállítási úthálózaton értelmezve.

A szállítási útvonal – hálózat megadása

A szállítási úthálózat egy lehetséges reprezentációját a 3-2. ábra mutatja.



3-2. ábra: Szállítási úthálózat reprezentációja

A 3-2. ábra jelölései:

- a vizsgált hálózati részrendszert a szaggatott vonallal határolja,
- a hálózatnak n darab ki/belépő pontja van (O_n),
- a hálózatnak m darab csomópontja van (P_m),
- a pontok között távolságok értelmezhetők, $l_{i,j}$

Kapcsolati mátrix megadása az úthálózatra vonatkozóan

A kapcsolati mátrix felépítése a következő:

$$K = \begin{bmatrix} k_{ij} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

k_{ij} kétértékű változó a következők szerint:

- értéke 1; ha az i . és a j . csomópont a közlekedési úthálózaton összeköthető, azaz el lehet jutni i -ből j -be és viszont,
- értéke 0; ha az i . és a j . csomópont nem áll kapcsolatban egymással közlekedési lehetőség szempontjából.

Az úthossz mátrix megadása az úthálózatra vonatkozóan

Az úthossz- mátrix felépítését a következő ábra szemlélteti:

$$L = \begin{bmatrix} & & \\ & l_{ij} & \\ & & \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

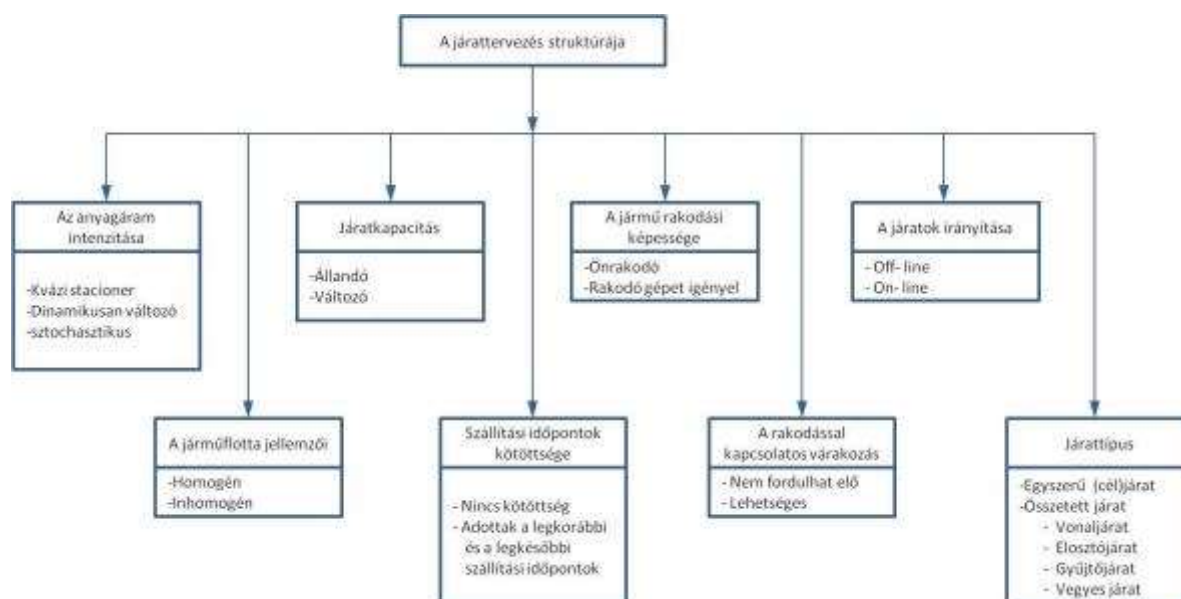
(3.13) alapján l_{ij} változó értéke a következőképpen alakul:

- ha k_{ij} értéke 1; akkor l_{ij} értéke az i . és a j . csomópont közti út hossza,
- ha k_{ij} értéke 0; akkor l_{ij} értéke ∞ , vagyis i . és j . pont között nincs szállítási útvonal.

Két tetszőleges úthálózati pont közötti távolság meghatározása a járatokba szervezhető relációk mátrixával (S) a következőképp lehetséges: $S = KL \Rightarrow s_{ij} = k_{ij}l_{ij}$

3.3.2 A járat típusok, és tervezésük módszerei

A [49] a 3-3. ábra szerint csoportosítja a járat tervezési feladatokat attól függően, hogy milyen peremfeltételekkel rendelkező logisztikai rendszerbe kell illeszkednie az elkészített terveknek.



3-3. ábra: A járatok tervezési szempontjai

A 3-3. ábra csoportosításának megfelelően a hulladékgyűjtő járatok besorolása a következőképp lehetséges:

- Az anyagáram egy meghatározott időintervallumra vonatkoztatott átlaga az egyes időszakok egymásutániségát tekintve dinamikusan változónak tekinthető, ugyanakkor az egyes hulladékgyűjtő edények ürítéskori telítettsége sztochasztikusan változó is lehet.
- A gyűjtőjáratok kapacitása változó.
- A gyűjtőjáratokat megvalósító járművek önrakodóak, külön rakodógépre nincs szükség.
- A gyűjtőjáratok irányítása jellemzően off- line.
- A gyűjtőjármű- flotta inhomogén (többféle járműtípusból tevődik össze).
- A kiszolgálási időpontok kötöttsége gyűjtőpont- típusonként változó. A lakossági eredetű hulladék gyűjtőedényeinek ürítése egy napszakon belül bármikor megtörténhet.
- A fel- és lerakodóhelyeken várakozás előfordulhat, illetve ilyen időjellegű peremfeltétel az is, hogy mivel a járatok tevékenységüket jellemzően közúton végzik, ezért a szállítási időtartamokat is hely -, illetve időszakfüggőknek kell tekinteni.
- A lakossági eredetű hulladékot gyűjtő járatok általában nem céljáratok, hanem tevékenységük általában gyűjtőkörutakba szervezett.

Mindezen körülmények és feltételek kezelésének érdekében a gyűjtőrendszer tervezésére alkalmas modellt úgy kell elkészíteni, hogy az a gyakorlatban is alkalmazható eredményeket szolgáltatson.

3.3.3 A hulladékgyűjtési célú járattervezés matematikai alapjai

Bevezetés

A hulladékgyűjtési célú járattervezésre alkalmas matematikai eszköztár a logisztikai hálózatok jellemzésére használatos gráfokra épül, amelyet a (3.14) jelöléssel lehet meghatározni:

$$G := (V, E, A) \quad (3.14)$$

Ahol V - a gráf csúcsainak halmaza, E - halmaz a gráf irányított-, A - halmaz pedig az irányítatlan éleit tartalmazza.

A csúcsok az olyan forrás- és nyelő objektumoknak – mint például a gyűjtőszigetek és a hulladékkezelő központok – feleltethetők meg, az élek pedig az objektumokat összekötő útvonalak. A járatok útvonalakhoz kötődő működtetési költségeit a gráf éleihez rendelhető értékek révén lehet figyelembe venni. Ilyen költségelem lehet a járattervezési vizsgálatok során például a gyűjtési távolság, vagy a bejáráshoz szükséges idő, ún. ciklusidő.

A hulladékgyűjtési rendszerekben alkalmazott járattervezéshez az utazó ügynök problémájának azon változata használható, amelyben egyrészt vagy a csúcsokban, vagy az élek mentén elhelyezett gyűjtőedényekhez-, másrészt pedig a G gráf bejárását végző ügynökhöz is egyaránt a kapacitásukat meghatározó értékek rendelhetők. Az alkalmazott gyűjtőedényekhez azok térfogatát, az ügynökhöz pedig a gyűjtőjármű konténerének térfogatát rendeljük hozzá. Az ilyen feladatok elnevezése: a kiszolgálójárművek járattervezési problémája. A továbbiakban olyan gyűjtőjáratok tervezésére használható matematikai modelleket mutatunk be, mely az általa kiszolgált gyűjtőpontokról egyféle hulladék szállítását végzi el.

A hulladékgyűjtési tevékenységek során kiszolgálni kívánt gyűjtőedények térbeli elhelyezkedése szerint a G gráf vonatkozásában a (3.15) szerinti részhalmazok definiálhatók:

$$V_{igény} \subseteq V \text{ és } E_{igény} \subseteq E \text{ és } A_{igény} \subseteq A \quad (3.15)$$

A részhalmazoknak az adott feladatban való jelenléte alapján a kiindulási probléma a következők szerint specifikálható:

- amennyiben $V_{igény} = 0$, akkor élek kiszolgálására vonatkozó járattervezésről-,
- ha pedig $E_{igény} = A_{igény} = 0$, akkor pontok kiszolgálására vonatkozó járattervezésről beszélhetünk.

Élek mentén fellépő igények kiszolgálására van szükség a házhoz menő gyűjtőjáratok üzemeltetése során, a szelektív hulladékgyűjtő szigetekről történő gyűjtés tervezéséhez pedig az utóbbi eset használható fel, a (3.16) szerint:

Kiindulási adatok

A kiindulási gráf: $G' = (V, A')$, mely n db csúccsal rendelkezik: $|V| = n$

$$A' = A \cup \{(i, j), (j, i) : (i, j) \in E\} \text{ és} \quad (3.16)$$

$$A'_{igény} = A_{igény} \cup \{(i, j), (j, i) : (i, j) \in E_{igény}\}$$

(3.16) összefüggésben A' jelöli a gráf irányított és irányítatlan éleinek halmazát, $A'_{igény}$ pedig ezek közül azokat, amelyekhez kiszolgálási igény is kapcsolódik.

Feladatdefiníció

Az ilyen típusú feladatok megoldása során a cél a $(c_{ij}$ és d_{ij} költségtényezők szerinti) legrövidebb út megtalálása G' gráfon egy (v_0) csúcsból indulva és ugyanide érkezve. Tehát mindkét gyűjtési alternatíva esetén a cél a bejárás költségének (S_b) minimalizálása, a megoldást pedig a házhoz rendelt gyűjtés esetén (és gyűjtőszigetek alkalmazása esetén hasonlóképp) x és y változók segítségével határozzuk meg a következőképpen:

(3.17) mutatja a feladat megoldásának célfüggvényét:

$$S_b = \min \left(\sum_{z \in J} \left(\sum_{(i,j) \in A'_{igény}} c_{ij}^z x_{ij}^z + \sum_{(i,j) \in A'} d_{ij}^z y_{ij}^z \right) \right) \quad (3.17)$$

ahol:

- $J = \{1, \dots, P\}$ jelöli a járművek halmazát,
- $\forall (i,j) \in A'_{igény} : x_{ij}^z \in \{0,1\}$ (3.18)

(3.17) és (3.18) összefüggésekben x_{ij}^z jelzi az i és j élek közötti csúcsban elhelyezett gyűjtősziget z jármű általi kiszolgálásának tényét. Ha az adott gyűjtősziget kiszolgálásra kerül, úgy x_{ij}^z értéke 1, ellenkező esetben 0,

- $\forall (i,j) \in A' : y_{ij}^k \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\}$ (3.19)

(3.17) és (3.19) összefüggésben y_{ij}^z jelöli i és j élek illetve a köztük lévő csúcs felkereséseinek számát z jármű által (természetesen azok kiszolgálása nélkül, hiszen ezeken a helyeken nincsenek gyűjtőedények),

- c_{ij} jelenti az i és j élek, vagy ezen élek közt lévő csúcs felkeresésének költségét, amennyiben az ezeken a helyeken elhelyezett gyűjtőedények ürítésre kerülnek,
- d_{ij} jelenti az i és j élek, vagy ezen élek közt lévő csúcs felkeresésének költségét, amennyiben azokhoz nem tartozik gyűjtőedény,
- v_0 jelöli a hulladékkezelő központot; a G' gráf azon csúcspontját, ahonnan a gyűjtőjármű indul, és ahova megérkezik,

Feltételek

- $q_x \leq C^z; \quad q_{ij} \leq C^z \quad \forall x \in V_{igény}, \quad \forall ij \in A'_{igény}$ (3.20)

Minden gyűjtőedény térfogata kisebb, mint a gyűjtőjárművek C^z szállítóképessége. (3.20)-ban q_x jelöli az egyes csúcsokhoz-, q_{ij} pedig az i és j élekhez kötődő igény ≥ 0 mennyiségét. Az igény az egyes kiszolgálási pontokról elszállítandó hulladékmennyiséget jelöli, az elszállítást megegyezés szerint pozitív előjel mutatja.

- A hulladékkezelő központban v_0 nincs kiszolgálási igény: $q_{v_0} = 0$.

- $$\sum_{(i,t) \in A'_{igény}} x_{it}^z + \sum_{(i,t) \in A'} y_{it}^z = \sum_{(t,j) \in A'_{igény}} x_{tj}^z + \sum_{(t,j) \in A'} y_{tj}^z \quad (3.21)$$

(3.21) mutatja, hogy az egy csúcsba érkező járművek száma megegyezik az onnan távozó járművek számával.

- $$\sum_{(0,j) \in A'_{igény}} x_{0j}^z + \sum_{(0,j) \in A'} y_{0j}^z = 1; \quad \forall z \in J \quad (3.22)$$
- $$\sum_{(i,0) \in A'_{igény}} x_{i0}^z + \sum_{(i,0) \in A'} y_{i0}^z = 1; \quad \forall z \in J$$

(3.22) szerint minden jármű a hulladékkezelő telephelyről indul, és oda is érkezik vissza.

- $$x_{ij}^z = 1 \Rightarrow Q_j^z \geq Q_i^z + q_j \quad \forall (i,j) \in V, \quad \forall z \in J \quad (3.23)$$
- $$\max\{0, q_i\} \leq Q_i^z \leq \min\{C^z, C^z + q_i\} \quad \forall i \in V, z \in J$$

(3.23)-ban Q_i^z jelöli a z gyűjtőjármű rakományát az i kiszolgálási pontot követően, valamint, hogy az a G' gráf j csúcsában q_j igény mértékével növelésre kerül. A jármű szállítókapacitásának összevetése az aktuális rakománnyal minden egyes pont kiszolgálása esetén meg kell, hogy történjen. Ez felhasználható a körút folytonosságának és teljességének biztosítására is.

- Házhoz menő gyűjtés esetén (3.23)-nak megfelelő összefüggések a következők: ($\forall z \in J, v \in V \setminus \{v_0\}$ feltételek mellett)

$$\sum_{(i,v) \in A'} f_{iv}^z - \sum_{(v,i) \in A'} f_{vi}^z = \sum_{(i,v) \in A'_{igény}} q_{iv} x_{iv}^z \quad (3.24)$$

$$\sum_{(v_0,i) \in A'} f_{v_0i}^z = \sum_{(v_0,i) \in A'_{igény}} q_{v_0i} x_{v_0i}^z; \quad \sum_{(i,v_0) \in A'} f_{v_0i}^z = \sum_{(i,v_0) \in A'_{igény}} q_{iv_0} x_{iv_0}^z$$

A kiszolgálójárművek számának és paramétereinek meghatározása

A hulladékgyűjtő járművek által kiszolgálandó igények mennyiségének felhasználásával a gyűjtőjáratok összes szállítókapacitásának meghatározása a (3.25) összefüggés szerint történik:

$$\sum_{z=1}^P C^z = \sum_{i \in V} q_i^z \quad (3.25)$$

$$Q(y_{ij}^z + x_{ij}^z) \geq f_{ij}^z, \quad \forall ij \in A'$$

(3.25)-ben f_{ij}^z jelöli házhoz menő gyűjtés esetén az $(i, j) \in A'$ élek bejárása közben kiszolgálandó igények mennyiségét.

A szükséges járművek számának $|Z|$ meghatározása (3.26) alapján történik:

$$|Z| \geq \left\lceil \frac{1}{C^z} \sum_{i \in V} q_i \right\rceil \quad (3.26)$$

3.4 Rendszertervezési feladatok a hulladékok gyűjtési sajátosságait illetően

A (3.25) és a (3.26) összefüggések megadják, hogy hogyan kell megválasztani a szükséges szállítójárművek kapacitásait, és hogyan kell meghatározni a kiszolgáló járművek számát. A gyakorlatra jellemző, hogy a gyűjtési feladat során igénybe vehető járművek kapacitása és száma adott, így ezen összefüggések segítségével azt lehet meghatározni, hogy járműveknek összesen hány gyűjtőkört kell megtenniük az összes igény kiszolgálásához. $|Z|$ tehát ebben az esetben a fordulók számát jelenti.

A (3.17) – (3.26) összefüggések felírása során azt feltételezzük, hogy az igények mértéke minden esetben pontosan ismert. A hulladékgyűjtési gyakorlatban azonban q_i pontosan meg nem határozható érték, ezért jelentős bizonytalansági tényezőként szerepel a gyűjtőjáratok tervezése, üzemeltetése szempontjából. A q_i meghatározása érdekében megbízható becslésekre van szükség.

A q_i -re vonatkozó leggyakrabban használt becslésekkel meghatározott együtthatók demográfiai- és közgazdasági tényezőkön alapulnak, és a lakosság létszámát alapul véve kg/fő/év- et, vagy más, ehhez hasonló mérőszámot használnak az egy meghatározott időszak alatt keletkezett hulladék mennyiségének jellemzésére [14]. Ezek az együtthatók a meghatározásuk nehézsége miatt legtöbbször időben állandóként szerepelnek a becslésekben. Ha rendelkezésre állnak különböző időszakokra, vagy területegységekre stb. vonatkozó statisztikai adatsorok – a pontosabb becslés érdekében – változókként is kezelhetők. Anélkül, hogy ezen együtthatók dinamizmusát okozó tényezőket figyelembe vennénk, csak olyan – a hulladékok kezelésére, gyűjtésére, feldolgozására, stb. vonatkozó – összefüggéseket állíthatunk fel, és olyan megállapításokat tehetünk, amelyek egy területre,

vagy időszakra átlagos értékeken alapulnak. A hulladékgyűjtő rendszerek kiszolgálásának optimalizálása érdekében nem elegendő ezen együttthatók átlagos értékeinek használata, meg kell kísérelni azok változását a lehető legnagyobb részletességgel leírni.

A tárgyalt együttthatók változásának egyik legjellemzőbb megjelenési formája, hogy az eltérő gyűjtési módszerekkel működtetett gyűjtőrendszerek esetén (ti. gyűjtőszigetes és házhoz rendelt) különbség tapasztalható az ugyanazon területről egy időszak alatt összegyűjtött hulladékmennyiség tekintetében. A különbség okait keresve a szelektív gyűjtési rendszerrel való ellátottságot jelöli meg az [1] irodalom a legfontosabb tényezőként. A [21] szerint pedig az ellátottság legfontosabb mérőszáma a 3.2 fejezetben definiált *ráhordási távolság* (s_r).

Amennyiben a gyűjtött hulladék mennyiségét a gyűjtőjármű által a gyűjtőedények ürítéséhez megtenni szükséges távolsághoz (s_{gy}) viszonyítjuk, úgy értelmezhetjük egy gyűjtőrendszer gyűjtési hatékonyságát:

$$\eta_{gy} = \frac{q_{gy}}{s_{gy}} \quad (3.28)$$

q_s - mennyiség két részre osztható aszerint, hogy milyen jellegű területről történt a begyűjtés:

$$q_{gy} = \sum_{i=1}^n q_{gyh}(i) + \sum_{j=1}^m q_{gysz}(j) \quad (3.29)$$

ahol: i - a háztartások futóindexe
 n - a családi házas háztartások száma
 q_{gyh}, q_{gysz} -a családi házas háztartásokból-, illetve a gyűjtőszigetekről gyűjtött hulladék mennyisége
 j - a gyűjtőszigetek futóindexe
 m - a gyűjtőszigetek száma
 k - a házhoz menő járatok futóindexe

A (3.29) összefüggést felhasználva a gyűjtőrendszer hatékonyságát definiáló (3.28) –ban a következő képlet adódik:

$$\eta_{gy} = \frac{q_{gyh} + q_{gysz}}{s_{gy}} \quad (3.30)$$

A (3.30) összefüggés egy olyan gyűjtőjáratot feltételez, mely q_{gyh} és q_{gysz} mennyiségeket együtt, s_{gy} utat bejárva gyűjti.

Ha a családi házas és társasházas övezeteket külön gyűjtőjáratokkal szolgáljuk ki (ennek oka a gyűjtésre alkalmazott járművek eltérése), akkor a gyűjtési út is kétkomponensű:

$$s_{gy} = \sum_{k=1}^p s_{gyh}(k) + \sum_{l=1}^r s_{gysz}(l) \quad (3.311)$$

ahol:

- p - a házhoz menő járatok száma
- l - a gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok futó indexe
- r - a gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok száma
- s_{gyh}, s_{gysz} - a családi házas területeket-, illetve a gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok úthossza

Fontos megjegyzés, hogy *a lakóépületek típusai szerinti területi elkülönítés figyelembe vétele nélkül (vagy nem a felsorolt elvek szerint) végzett járattervezés során*

$$s'_{gy} \geq s_{gyh} + s_{gysz}, \quad (3.31)$$

mert egy területet a rajta alkalmazott gyűjtési módszerek együttes jelenléte miatt mindkét típusú (a szigeteket kiszolgáló és a házhoz rendelt) gyűjtőjáratok is bejárnak.

Ebben az esetben a különböző járatok gyűjtési hatékonyságát a következő összefüggéssel jellemezhetjük:

$$\eta_{hgy} = \frac{\sum_{i=1}^n q_{gyh}(i)}{\sum_{k=1}^p s_{gyh}(k)} ; \quad \eta_{gysz} = \frac{\sum_{j=1}^m q_{gysz}(j)}{\sum_{l=1}^r s_{gysz}(l)} \quad (3.32)$$

ahol:

- η_{gyh}, η_{gysz} - a családi házas területeket-, illetve a gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok hatékonysága

A különböző jellegű területeken külön járatokat alkalmazó gyűjtőrendszer hatékonyságát (3.31) alapján a családi házas övezetekben tapasztalható η_{gyh} és a társasház övezetre jellemző η_{gysz} együttesen határozza meg. Az 5.12 fejezetben részletezésre kerülő iteráció során ezt a η_{gyh} -t a rendszertervező eljárás egyik indikátorának (KPI – Key Performance Indicator) tekintem, és KPI_1 -gyel jelölöm, η_{gysz} pedig ennek megfelelően KPI_2

(3.32) összefüggés azt mutatja, hogy a komplex gyűjtőrendszer hatékonyságán η_{gyh} és η_{gysz} komponensek külön – külön történő emelése javít.

A (3.33) kifejezi, hogy (3.30)-ban szereplő (3.31) és (3.32) miatt *a lakóépületek típusai szerinti területi elkülönítés figyelembe vétele nélkül (vagy nem a felsorolt elvek szerint) végzett járattervezés során:*

$$\eta'_{gy} \leq \eta_{gyh} + \eta_{gysz} \quad (3.33)$$

A gyakorlatban a különböző lakóépületekkel jellemezhető területek közti különbségek nem a róluk származó szelektív hulladékok minőségi, hanem mennyiségi jellemzői tekintetében tapasztalhatóak [47]. Ez konkrétan azt jelenti, hogy gyűjtőszigetes eljárással társasház övezetekből fajlagosan (egy háztartásra vetítve) több hulladék gyűjthető szelektíven, mint

ugyanilyen módon családi házas övezetekből. Ennek oka az [1] szakirodalom megállapításaival egybehangzó módon az, hogy ilyen gyűjtési módszer esetén a lakosság átlagos együttműködési hajlandósága a társasházban élő háztartások esetében nagyobb, mint a családi házzal rendelkező háztartásoké. Mivel [21] szerint az együttműködési hajlandóság a ráhordási távolsággal arányosan változik; elmondható, hogy az egy háztartásra eső szelektíven gyűjtött hulladékmennyiség társasházazas övezetek esetén azért nagyobb a családi házas területeken tapasztalhatóhoz képest, mert gyűjtőszigetek alkalmazása esetén az előbbiek átlagos ráhordási távolsága kisebb, mint az utóbbiaké.

Ha ez igaz, akkor úgy lehet emelni a családi házas területek szelektív gyűjtésben való átlagos részvételét, hogy csökkentjük számukra a ráhordási távolságot. Ez leginkább teljesen más gyűjtési módszer – a házhoz rendelt gyűjtés – bevezetésével lehetséges, hiszen ebben az esetben a ráhordási távolság minimális.

A szelektív hulladékgyűjtési rendszereket jellemző szelektív részarány (γ) a következő képlettel definiálható:

$$\gamma = \frac{q_s}{q_s + q_c} \quad (3.34)$$

ahol:

q_s - egy meghatározott időszak (τ) alatt a szelektív gyűjtőrendszer által összegyűjtött hulladék mennyisége,

q_c - pedig az ugyanezen időszak alatt, ugyanazon területről összegyűjtött kommunális hulladék mennyisége.

A hulladékok anyagi összetételének vizsgálatával foglalkozó [14] szakirodalom szerint a hulladék minőségi összetételét elsősorban a háztartások anyagi helyzete befolyásolja, tehát nagyságrendileg azonos átlagos bevételekkel rendelkező terület esetén a családi házas és a társasházazas övezetek közt a rajtuk képződő hulladékok szelektív részaránya tekintetében nincs szignifikáns különbség. A [47] szerint mindkét típusú területen hozzávetőlegesen az összes hulladékmennyiség 30 – 33% -át alkotják azok a hulladékfajták, melyeket a többi hulladéktól elkülönítetten érdemes gyűjteni.

4 Feladatkitűzés

Az előző fejezetben bemutatott gondolatmenet révén jutottam el a dolgozatom témájához, a szelektív gyűjtőjáratok hatékonyságának területi információk felhasználásával történő javítási lehetőségeinek behatóbb vizsgálatához. Azért javaslom a szelektív hulladékgyűjtés feladatának új megközelítésű dekompozícióját a családi házas- és a társasházak övezetek megkülönböztetése mentén, mert (3.32)- nek megfelelően a különböző területeket kiszolgáló járatok hatékonyságának külön- külön történő emelésére a térinformatikai eszközöket kihasználva jó esélyt látok.

η_{gyh} , η_{gysz} növeléséhez vagy a (3.32) összefüggés számlálójában szereplő hulladékmennyiségek növelése, vagy a nevezőiben szereplő gyűjtési távolságok csökkentése szükséges.

A gyűjtött mennyiségek növelését az eltérő jellegű területeken eltérő gyűjtési módszerek bevezetésével remélem a következők szerint:

- a szolgáltatási területnek a gyűjtési módszerek szerinti felosztását a társasházak – családi házas övezeteket figyelembe véve tervezem,
- társasházak területeken a háztartások számával arányos mennyiségű és kapacitású hulladékgyűjtő szigetet helyezek el úgy, hogy az átlagos ráhordási távolság minimális legyen,
- a családi házas területeken a házhoz rendelt gyűjtést alkalmazom,
- a szolgáltatási terület felosztásával társasházak övezetté nyilvánított területeken lévő családi házakhoz nem szervezek házankénti gyűjtést; az adott területeken elhelyezésre javasolt szigetek számának (és helyének) kijelölésekor ezeket a családi házas háztartásokat is figyelembe veszem.
- A gyűjtési távolság (s_{gyh} , s_{gysz}) csökkentését pedig járattervezés révén való minimalizálással a következők szerint végzem:
- a szigeteket gyűjtőjáratokba szerveztem ki, a családi házak szelektív gyűjtőedényeinek ürítését pedig ezektől különböző járatok végzik.

Veszélyek

A (3.32) összefüggés számlálója (azaz a gyűjtött hulladékmennyiségek) a ráhordási távolság (s_r) csökkentésével [21] – nek megfelelően nőhet, ha ennek érdekében több gyűjtőszigetet alakítunk ki, illetve több családi házra terjesztjük ki a házhoz rendelt szelektív gyűjtési szolgáltatást, akkor annál nagyobbá válnak a gyűjtés során megtett úthosszak. Az s_r csökkenésével a járatúthossz – minimalizálások elvégzése ellenére s_{gyh} és s_{gysz} is nőhet.

Konklúzió:

A gyűjtési hatékonyságot az adott területen működő gyűjtőrendszer teljesítményét meghatározó kulcstényezőnek (KPI) lehet tekinteni. Nagyobb hatékonysággal működő gyűjtőrendszer kialakítása pedig akkor lehetséges, ha sikerül olyan terület felosztási eljárást definiálni, mely alkalmazásával a szolgáltatási területről a különböző gyűjtési módszerekkel úgy gyűjthető be nagyobb mennyiségű hulladék, hogy ez nem jár a gyűjtési távolság aránytalan növekedésével.

Peremfeltételek:

- A rendszer a hulladékok háztartásoktól és gyűjtőszigetekről való gyűjtését végzi, tehát a gyűjtőedények ürítéskori telítettségéről (a mindenkor aktuális igényekről) nem állnak rendelkezésre előzetes információk. Célom nem a pillanatnyi igények változásának követési képességével rendelkező gyűjtési eljárások kidolgozása. Ehelyett az igények átlagos értékeit felhasználva olyan optimális gyűjtőrendszer – tervező modell megalkotására vállalkozom, amely továbbfejlesztés révén pl. a szezonális kezelésre bizonyos adaptációs képességekkel is felruházható gyűjtőjáratokat is tud definiálni, (ilyen továbbfejlesztés lehetőség a gyűjtőszigetek telemetriával való ellátása).
- Csak a háztartásokból származó hulladékok szelektíven gyűjthető részének gyűjtését végző rendszer kialakítását tervezem meg, mivel az ipari és kereskedelmi forrásokból származó hulladékokra nem alkalmazhatóak a (3.28 – 3.34) összefüggésekkel jellemezhető szabályok. A kidolgozni kívánt rendszertervezési eljárások gyakorlatban való alkalmazhatóságát ez nem befolyásolja. Az ipari és kereskedelmi hulladékok gyűjtése – nagy keletkezési intenzitású pontszerű hulladékforrásokként értelmezve őket – direkt szállításokkal is gazdaságos lehet, ezt a tevékenységet mindenképpen külön szerződések keretében, nem a hulladékgyűjtési közszolgáltatásként végzik a szolgáltatók.
- A modellezés során az egyes háztartásoknak az ürítési időpontokban fellépő hulladékszállítási igényeinek jellemzésére a rendelkezésre álló gyűjtőedény térfogatot használok fel. Ennek a közelítésnek a gyakorlati háttere a közszolgáltatási szerződésekben rögzített kitétel, mely szerint minden háztartásnak a nála keletkező hulladék mennyiségének megfelelő méretű hulladékgyűjtő edénnyel kell rendelkeznie.
- A háztartások szelektív gyűjtés iránti igényeit a kommunális hulladék gyűjtésére szolgáló gyűjtőedényük 30% - át jelentő átlagos elméleti térfogatarányban határozom meg. A [47] szakirodalom 30-33% -ot ad meg, de fontos kitétel, hogy a tervezett

gyűjtőrendszer üveghulladékkal nem foglalkozik, aminek gyakorlati okai a következők:

- az üveg részaránya jelenleg a szelektív frakciók mennyiségének kis százalékát jelenti, ráadásul csomagolóanyagként való felhasználásának trendje folyamatosan csökken,
- a házhoz rendelt gyűjtés gyakorlatában a járművek tömörítési képességének kihasználása érdekében üveget nem gyűjtenek,
- a 2.1.1 fejezetben említett betétdíjas rendszer a kereskedelmi csatornák felhasználásával várhatóan új kereteket biztosít majd a csomagolási üveghulladék visszagyűjtésének.
- A szelektív gyűjtés állandó kiszolgálási időközeit a modellben megegyezőnek választottam a kommunális gyűjtésével; annak érdekében, hogy a gyűjtőedény – térfogatok mérőszámait (különböző jellemzésekre a gyakorlatban előszeretettel használt 60; 110; 240 liter, stb.) alkalmazzam az igények mennyiségi modellezésére. A gyakorlatban a gyűjtési időközök nem egyformák; a szelektív hulladékot gyűjtő edényeket ritkábban ürítik. A gyűjtési időköz nem szerepel (3.28 – 3.31) összefüggésekben vagyis a vizsgált rendszer gyűjtési hatékonyságát az ürítési időköztől függetlennek tekintem.
- Az igények mértékét a hulladékgyűjtő rendszer tervezése során állandónak tekintem. Nem célom az igények mértékét befolyásoló szezonális-, speciális helyszínek-, és egyéb externáliák hatásainak figyelembe vétele, de a továbbfejlesztésnél ezek figyelembe vehetőek.
- Olyan gyűjtőjárművek alkalmazásával oldom meg a feladatot, amelyek minden (a gyakorlatban előforduló szelektíven gyűjthető) hulladékfajta kezelésére képesek, és amelyek a gyűjtési folyamat közben (1:5- arányú) hulladéktömörítést is végeznek.
- A gyűjtőszigetek helyének kijelölésekor a logisztikailag optimális helyeket keresem meg, és a főbb közlekedési és infrastrukturális jellemzőket is figyelembe veszem. Nem célom annak vizsgálata, hogy az ily módon kijelölt hely minden szempontból megfelel-e a gyűjtőszigetek létesítésre vonatkozó előírásoknak. A kidolgozott hulladékgyűjtő rendszer – tervezési eljárások gyakorlati alkalmazhatóságát ez nem befolyásolja, amennyiben az általam figyelembe vett jellemzők szem előtt tartása mellett a szigeteket a modell által megjelölt pozíciók közelébe; a feltételeket kielégítő helyszínekre telepítik.
- Azzal a feltételezéssel is élek, hogy a háztartások hulladékukat mindig a hozzájuk legközelebb eső gyűjtőszigetre, az úthálózaton közlekedve viszik, kivéve, ha ennek természetes-, vagy épített akadályai vannak. Ilyenek lehetnek például

parkok, beépítetlen területek, ahol nehézkes a közlekedés, vagy nagy forgalmú utak, ahol az átkelések veszélyesek és általában sok időt vesznek igénybe. Azt feltételezem, hogy ilyen helyzetekben a háztartások egy jobban megközelíthető, hasonlóan távoli, másik gyűjtőszigetet választanak. Ehhez hasonlóan a hulladékok távoli gyűjtőszigetekre gépjárművel való (és egyéb módokon történő) szállításának lehetőségét sem veszem figyelembe.

- A gyűjtőrendszer- tervező modellben minden gyűjtősziget egyformán 10m^3 –es kapacitással bír, ezen belül nem különböztetem meg az egyes frakciókat gyűjtő konténereket sem. Ezt az egyszerűsítést csupán az áttekinthetőség érdekében használom, a modell gyakorlati alkalmazhatóságát ez nem befolyásolja. Egyrészt, mert amennyiben az egyes frakciók ürítése más – más járatokkal történik, akkor ezekre külön – külön kell járatokat is tervezni, tehát ebben az esetben a szigetméret helyére az aktuálisan gyűjtött frakció konténerének mérete kerülhet – és természetesen az igényeket jellemző értékeket is ennek megfelelően kell módosítani. Másrészt a gyakorlatban a csomagolóanyagokat ugyanazon járatokkal, együtt gyűjtik és tömörítik a szállítás során.

5 A gyűjtési hatékonyságot a területi információk felhasználásával növelő hulladékgyűjtő rendszer – tervező modell létrehozása, működése és eredményei

5.1 A térinformatikai adatbázisok strukturális építőelemei

5.1.1 Vektoros modellek

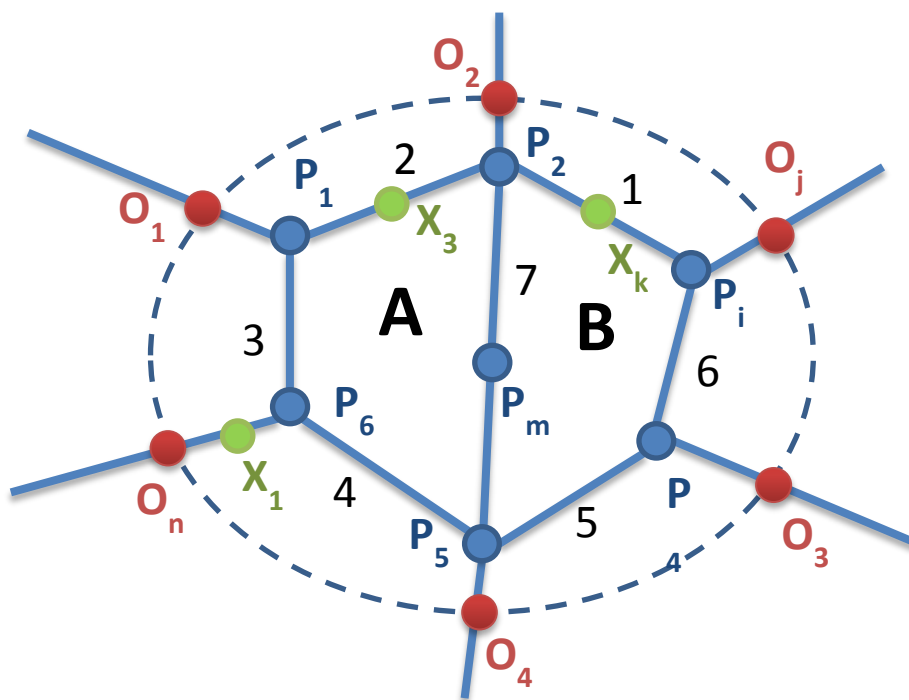
Diszkrét, földrajzi vetülettel rendelkező alakzatok megjelenítésére leggyakrabban pontok és vonalak (mint alapelemek) halmazait tartalmazó ábrázolást használunk. A térinformatikai adatbázisok vektoros modelljei minden egyes ilyen alapelemet egy rekordként tartalmaznak, amelyek az alapelemek típusát és annak jellemzőit is megadják. A térinformatikai alapelemek a következő típusokba sorolhatók:

pont (csúcsok, csomópontok): a térinformatikai modell felépítése során alkalmazott absztrakció eredményeként pontszerűnek tekintett objektumok reprezentálására alkalmas alapelem. A feladat megoldása során ilyen alakzatként ábrázolom az egyes háztartásokat, pontosabban az azoknál elhelyezett hulladékgyűjtő edényeket. Az egyes pontok fő jellemzői ebben az esetben azok helyét jellemző koordináták, illetve a gyűjtőedény térfogata. A 5-1. ábra pontjai: p_i, o_j, x_k

vonal (ívek, élek): folytonos, vagy nem folytonos vonalszakaszokkal jellemezhető objektumok reprezentációjára szolgáló alapelem. A dolgozatban ilyen alakzatok felhasználásával írom le a szállítási hálózatot. A hálózat egy szakaszának fő jellemzői a kezdő- és végpontok koordinátái és a szakasz hossza (illetve az 5.1.6 fejezetben részletezésre kerülő egyéb paraméterek). Az 5-1. ábra vonalai: 1, 2, 3, stb. élek.

sokszög: egymással átfedésben lévő-, vagy diszjunkt területeket reprezentáló alapelemek. Ezek olyan pontthalmazokként foghatók föl, amelyek csúcsok szerepét betöltve zárt területet határoznak meg. Ilyenek felhasználásával jelenítem meg a dolgozatban a családi házaz, vagy társasházaz övezeteket. Fontos, hogy a szegmentálás révén a családi házaz és a társasházaz területeket reprezentáló sokszögek diszjunkt sokszögek, ennek révén biztosítom a területi elkülönülést. Az ezek során alkalmazott sokszögek fő paraméterei a csúcsok koordinátái és a sokszög területe. A 5-1. ábra sokszögei: A, B.

vegyes struktúrák: az előbb vázolt alapelemekből felépíthető összetett alakzatok, melyek speciális térinformatikai műveletek elvégzésére szolgálnak. Ilyen struktúrákat alkalmazok a dolgozatban a már elkülönített társasházaz övezeteknek a főbb (többsávós) közlekedési útvonalak miatti területfelosztáskor. Az 5-4. ábra egy példa a vegyes struktúrára, az ábra által megjelenített elemek egy összetartozó térinformatikai adatstruktúrában (adatbázisban) is leképezhetők.



5-1. ábra: A térinformatikai alapelemek szemléltetése

5.1.2 Raszterek

Gyakoriak az olyan földrajzi objektumok, melyek jellemző tulajdonságainak térbeli leírásához, megjelenítéséhez meghatározott méretű cellákból álló rácsos szerkezet a legmegfelelőbb. Az egyes cellákban elhelyezett értékek a cella rácsban elfoglalt pozíciója által meghatározott helyeken jellemzik a leírni kívánt tulajdonságot. Ilyen jellegű reprezentációval szokás a területileg folyamatosan változó paraméterekkel jellemezhető objektumokat, vagy alakzatokat ábrázolni, mint pl. domborzat, csapadékmennyiség, jellemző növényzet, stb. A raszterek celláinak mérete utal a területről, és annak ábrázolni kívánt tulajdonságáról rendelkezésre álló információk részletességére – ezt nevezi a [18] szakirodalom a raszter felbontásának. Minél kisebb a rács celláinak a mérete, annál nagyobb a raszter felbontása; annál részletesebb információk állnak rendelkezésre a területileg ábrázolni kívánt jellemzőről. A dolgozatban ilyen adatmodell felhasználásával jellemzem a hulladékgyűjtő rendszer szolgáltatási területét, mielőtt szegmentálnám azt családi házas-, és társasházaz övezetekre. A szolgáltatási terület raszterének az egyes háztartások

gyűjtőedényeinek pontjaiból való előállításához használok fel a térbeli interpolációt. A szolgáltatási területet reprezentáló raszter celláinak méretét a családi házak építési sűrűségéhez igazodva 50x50 méterre választottam, a cellák tartalmát pedig a cella 500mx500m – es környezetében található hulladékgyűjtő edények átlagos térfogataként definiálom. A modellben a környezet alakja és mérete változtatható paraméterként szerepel.

5.1.3 Topológia

A térinformatikai adatbázisokban tárolt objektumok egymáshoz viszonyított elhelyezkedésének, és térbeli kapcsolatainak leírására szolgáló szabályrendszer. A térinformatikai adatbázisok felépítésükkel valósítják meg ezeket a szabályokat, így a topológiai szabályok alkalmasak az adatbázisok integritásának biztosítására. Három alapvető topológiai kapcsolat ismeretes, melyek az 5-1. ábra jelöléseit felhasználva a következőképpen definiálhatók:

- *Kapcsolódás*: a közös csomóponttal rendelkező élek az adott csomópontban kapcsolódnak egymáshoz: pl. a p_2 csomópontban kapcsolódnak egymáshoz az 1., 2. és 7. élek. Ezen kapcsolat felhasználása teszi lehetővé a szállítási hálózatok térinformatikai ábrázolását és az anyagáramok (hulladékáramok) nyomon követését ezeken a hálózatokon.
- *Terület meghatározás*: a térinformatikai adatbázisok listaszerűen tartalmazzák a kapcsolódó élek által formált sokszögeket: pl. a 2., 3., 4., 7. élek az A-, illetve az 1., 5., 6., 7. élek a B sokszöget alkotják. Ezen kapcsolat biztosítja azt, hogy területileg is jellemezni lehet a szállítási hálózatok elhelyezkedését, illetve különbséget lehet tenni a szállítási hálózat egyes részei között azt felhasználva, hogy azok különböző sokszögekkel leírható területeken helyezkednek el. Ezt a tulajdonságot használok fel a családi házas és társasházak területeken megvalósuló gyűjtőjáratok egymástól való megkülönböztetésére.
- *Folytatólagosság*: a térinformatikai adatbázisok listaszerűen tartalmazzák az egyes élek mindkét oldalán elhelyezkedő sokszögeket: pl. az A és B sokszögek folytatólagosnak tekinthetők, mert a 7. él közös élük. Ezen tulajdonság felhasználásával biztosítom a családi- és társasházak szegmensekből felépülő szolgáltatási terület egységét.

5.1.4 Geoadatbázis

A geoadatbázis olyan térinformatikai adatmodell, mely lehetővé teszi a 5.1.1 – 5.1.3 szakaszokban definiált objektumtípusok egyedeinek és kapcsolatainak létrehozását és tárolását. Emellett ebben az adatbázisban helyet kaphatnak az objektumok viselkedését

meghatározó kódrészletek, valamint azok a függvények, eljárások és egyéb metódusok, melyek segítségével az adatbázis tartalma az elvégezni kívánt vizsgálatoknak megfelelően rendszerré szervezhető. Ezt a lehetőséget használok fel a hulladékgyűjtő rendszer tervezését végző modell kialakítása során: a geoadatbázisba szervezett kiindulási adatokon az ugyancsak abban foglalt; modelbuilder – szimbolikával megírt metódusok révén gyűjtőrendszer- modellt hozok létre, mely modellen az ArcGIS NetworkAnalyst- bővítményét felhasználva szimulációs vizsgálatokat végzek.

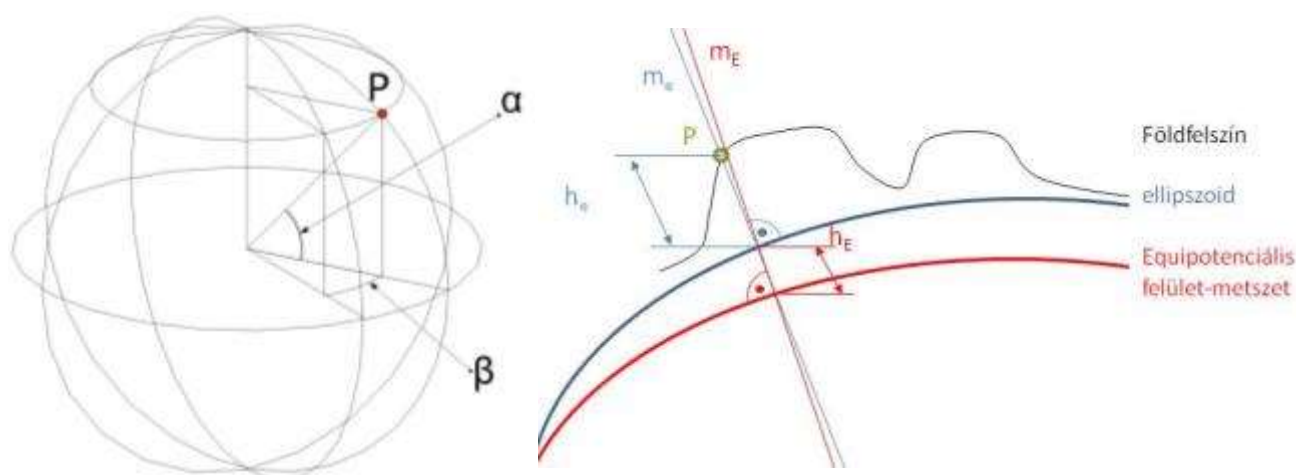
5.1.5 Koordinátarendszer, helymeghatározás

Az alapelemek paraméterei közül térinformatikai szempontból az egyik legfontosabb az, amelyik meghatározza a térben elhelyezkedő objektumok helyét. A földrajzi hely jellemzéséhez többféle koordinátarendszer is alkalmas lehet, így egy objektum helyének földrajzilag pontos meghatározásához először a koordinátarendszer kiválasztása szükséges.

A térinformatikában alkalmazott koordinátarendszerek két típusba sorolhatóak; léteznek az ún. földrajzi koordináta rendszerek, melyek a föld gömbfelületszerű felosztásának megfelelően szélességi és hosszúsági koordinátákat használnak a földrajzi helyek meghatározására.

Egy, a gömbfelületen elhelyezkedőnek tekintett pont földrajzi szélességi koordinátáját a pontot és a föld középpontját összekötő egyenes, illetve az egyenlítő síkja által bezárt szög adja. A 5-2. ábra baloldali részén vázolt földrajzi koordinátarendszerben P pont szélességi koordinátája: α .

Ugyanennek a pontnak a földrajzi hosszúsági koordinátája alatt pedig megállapodás szerint a Greenwichi obszervatóriumon- és magán a ponton áthaladó hosszúsági körök (meridiánok) által bezárt szöget értjük. A 5-2. ábra baloldali részén vázolt földrajzi koordinátarendszerben P pont szélességi koordinátája: β .



5-2. ábra: A térinformatikában használatos koordinátarendszerek szerinti helymeghatározás

A gyakorlati alkalmazhatósághoz ez a helymeghatározási pontosság nem elegendő, hiszen egyrészt nem ad információt a nem a közelítő test felszínén elhelyezkedő pontokról, másrészt pedig mert a Föld alakja nem gömb, hanem olyan szabálytan test, mely leginkább forgás- ellipszoiddal modellezhető.

Egy P pont tényleges (korrigált) szélességi és hosszúsági koordinátáinak meghatározásához tehát szükség van az ellipszoid lapultságának megállapítására is. A P pont magasságának leírásához a földrajzi rendszerekben alkalmazott equipotenciális felületet is definiálni kell. Ez a felület azzal a tulajdonsággal bír, hogy minden pontjában merőleges a nehézségi erő irányára, így a rajta mozgó tömeg nem végez munkát a nehézségi erővel szemben. A föld alakjának közelítésére alkalmazott ellipszoid nem minden pontja rendelkezik ezzel a tulajdonsággal, így equipotenciális felületként ez nem alkalmazható. A 5-2. ábra jobb oldalán látható, hogy a P pont equipotenciális felülettől mért távolságát megkapjuk, ha a P pontból az ellipszoidra állított m_e merőlegesen mérhető magasságához (h_e) hozzáadjuk az adott merőleges és az ellipszoid metszéspontjának távolságát (h_E) az equipotenciális felület – metszettől. Ezen utóbbi távolságot geoidundációnak szokás nevezni [20].

A 5-2. ábra alapján látható, hogy a P pont magasságát akkor lehet a legpontosabban meghatározni, ha a geoidundáció értéke ismert. Mivel az equipotenciális felület és a forgásellipszoid távolsága nem állandó, a meghatározni kívánt pontoknak megfelelő (azokhoz minél közelebb lévő területre vonatkozó) geoidundáció értékek szerint többféle lokális koordinátarendszer létezik. Ezen lokális koordinátarendszereket földrajzi dátumoknak nevezik.

A hulladékgyűjtési gyakorlatban (és a polgári közlekedés során is) olyan helymeghatározó eszközöket alkalmaznak, melyeket a gyűjtőjármű –flotta nyomonkövetésére alkalmazott GPS- alapú fedélzeti eszközrendszerek kezelnek. A GPS- helymeghatározó jelet a Föld egyenlítője fölött keringő geostacionárius műholdak szolgáltatják, az ennek vételére szolgáló eszközök pedig Európában a legelterjedtebb, WGS84 dátumú koordinátarendszert használják. A magyarországi területekre legalkalmasabb HD72 dátumú koordinátarendszerben (az Egységes Országos Vetületi Rendszerben) ábrázolt térképi adatokhoz való ragaszkodás helyett ma már hazánkban is egyre elterjedtebb a WGS84 rendszer használata. A dolgozatomban felhasznált minden térinformatikai adatbázist WGS84 dátumú koordinátarendszert alkalmazva hoztam létre.

5.1.6 Térkép, úthálózat jellemzése

A térképi adatokat a hulladékszállítási feladat térbeli megjelenítéséhez használom fel, ezért a térkép legfontosabb adatbázisa az a közlekedési úthálózat, melyen a hulladékgyűjtő járművek felkeresik a háztartások gyűjtőedényeit.

Az úthálózat útszakaszokból épül fel. Az útszakasz reprezentációjára a vonal térinformatikai alapelem szolgál, ami azt jelenti, hogy a térképi adatbázis egy útszakaszt egy rekordként tárol. Csak olyan úthálózat- részlet lehet útszakasz, amely a jellemzők ugyanazon értékeivel leírható, ami az 5-1. ábra jelöléseivel azt jelenti, hogy $\overline{P_5P_2}$ csak akkor lehet útszakasz, ha $\overline{P_5P_m}$ és $\overline{P_mP_2}$ ugyanazokkal a paraméterekkel jellemezhető. Az úthálózattal végzett számítások időszükségletének csökkentése céljából $\overline{P_5P_2}$ - úthálózat- részletet útszakaszként célszerű meghatározni. Az elkészített úthálózat- modell egy részletét mutatja a 5-3. ábra, ahol az egyes útszakaszokat különböző színekkel ábrázoltam.



5-3. ábra: Az útszakaszok megjelenítése

Az útszakaszok jellemzéséhez használatos térinformatikai adatbázis rekordjai a következő mezőket tartalmazzák:

- az útszakasz azonosítója,
- az útszakasz pozíciója (a kezdő- és végpontok koordinátái),
- az útszakasz hossza (a kezdő- és végpontjának koordinátaiból származtatva, méterben kifejezve),
- az útszakasz közlekedési besorolása (kategóriákba sorolást jelent: pl. autópálya, autóút, főút, stb.),
- egyirányúságra vonatkozó adat (ezen mező értékei a következők lehetnek: nem egyirányú; a kezdőponttól a végpont felé egyirányú, ill. fordítva),
- házszámok elhelyezkedésére vonatkozó adatok (az út mindkét oldalán)
- az útszakaszon érvényes sebességkorlátozás,
- egyéb korlátozások (az úton közlekedő járművek szélességére, magasságára, vagy súlyára vonatkozóan).

A modell működése során a 3.3.3. fejezetben definiált c_{ij} és d_{ij} paraméterek a hálózati gráf éleinek bejárásához rendelt költségeket jelentik. Ezekre vonatkozik a járattervezés (3.17) – összefüggéssel jellemzett célfüggvénye. Az általam felépített modellben a gráf éleinek az útszakaszok felelnek meg, a költségparaméterek pedig az útszakaszok hosszát tartalmazó adatbázismezők. A (3.17) célfüggvénynek megfelelően a modell a 4. fázisában olyan gyűjtőkörutat határoz meg, melyben a társasházak övezetek gyűjtőszigeteit, valamint a családi házakat egyaránt kiszolgáljuk, és közben a gyűjtőkörutak hossza az adott paraméterek szerint az elérhető legrövidebb. A modell működését az 5.9. fejezetben részletezem.

5.1.7 Szállítási igények jellemzése

A dolgozat keretében kidolgozni kívánt térinformatikai modell alapgondolata, egyben a térinformatika hulladékgyűjtő rendszer tervezésére való alkalmazásának legfőbb szempontja az, hogy a gyűjtőpontok elhelyezkedése alapvetően meghatározza a gyűjtési módszert. Ez a lakossági forrásból származó hulladékok gyűjtése esetén leegyszerűsítve azt jelenti, hogy a hulladékgyűjtő rendszer tervezése során törekedni kell arra, hogy a gyűjtőpontokat a lakossághoz a lehető legközelebb helyezzük el. Ennek indoka az, hogy minél nagyobb a távolság, amit annak érdekében kell megtenni, hogy a hulladékot ne a legközelebbi, a hulladékot vegyesen gyűjtő kukába helyezzük el, hanem olyan gyűjtőedénybe, mely lehetővé teszi a különböző hulladékfrakciók egymástól való elkülönítését; a képződő hulladékok annál kisebb hányada hasznosítható. Amennyiben a modellezni kívánt hulladékgyűjtő rendszer szolgáltatási területén egyaránt vannak családi házas és társasházak jellegű övezetek is, úgy a vázolt távolságcsökkentés érdekében különböző kiszolgálási módok alkalmazását javaslom. Az ilyen, lakóépület- típusok szempontjából heterogén területen működő gyűjtőjáratok részére a (3.15) és a (3.16) összefüggések-, valamint a q_v mennyiség jellemzik a szállítási igényeket. Ezek az igények a gyűjtőpontokon elhelyezett gyűjtőedények megfelelő időközönként való ürítésére vonatkoznak.

Az igények térinformatikai modellezése során az elhelyezkedést;

- egyrészt a háztartások gyűjtőedényeinek,
- másrészt pedig a szelektív hulladékgyűjtő szigeteknek

a térképi ábrázolásával képeztem le. Minden egyes gyűjtőpontot az igények térinformatikai adatbázisának egy –egy rekordjával határoztam meg. A rekordok mezői a következők:

- gyűjtőedény – azonosító,

- *térfogat*: az edények térfogatának jellemzésére hagyományosan a liter térfogat – mértékegység használatos,
- *pozíció*: a pontként ábrázolt gyűjtőedény elhelyezkedése a WGS84 rendszerben értelmezendő szélességi és hosszúsági koordinátákat használva,
- *a hozzárendelt útszakasz azonosítója*: az igényhez rendelt útszakasz, melyről a kiszolgálás elvégezhető,
- *kiszolgálási sorszám*: a családi házas háztartások konténereire és a gyűjtőszigetekre külön – külön meghatározva,
- *kiszolgálási idő*: a gyűjtőjárat által a gyűjtőedény ürítésére fordított időtartam.



5-4. ábra: A gyűjtőpontok térképi megjelenítése

Az igények eltérő q_v mértékeit a 5-4. ábra a gyűjtőpontok alakjával és színével jelképezi. Az ábrán a zöld színű pontok a kisméretű gyűjtőedényeket, a pirosak pedig a nagyobb gyűjtőkonténereket reprezentálják. A gyűjtőszigeteket a 5-4. ábra jobb oldali részén a kék négyzetek jelképezik.

A háztartási (kommunális) hulladék összetételére, és a belőle szelektíven gyűjthető hulladékfajták arányára az igények mennyiségi jellemzése során a következő feltételezéssel éltem: a hulladékok keletkezési ütemét, ehhez kapcsolódóan az ürítések közti időintervallumot a háztartások gyűjtőedényeinek méretét alapul véve állapítottam meg. Ehhez az időintervallumhoz igazítva számítottam ki a gyűjtőszigetek elhelyezendő gyűjtőkonténerek tárolási kapacitását is a következőképpen:

- A családi házzal rendelkező háztartások olyan méretű gyűjtőedénnyel rendelkeznek, mely lehetővé teszi számukra a kommunális hulladékuk tárolását az azt gyűjtő járatok ürítési időpontjai közt. Ha a szelektív frakciókat gyűjtő járatok ugyanilyen időközönként érkeznek, akkor az általuk elszállítható hulladékmennyiséget

a kommunális hulladék mennyiségének 30% – ában rögzítettem, a [47] szakirodalom megállapításaival összhangban.

5-1. táblázat: Az igények jellemzése során alkalmazott megközelítés

a háztartások (társasházak esetén háztartáscsoportok)	kommunális gyűjtőedényének mérete [liter]	60	110	120	240	770	1100
	hulladékszállítási igényének mértéke a szelektív gyűjtőrendszerben [liter]	18	33	36	72	231	330

- A hulladékgyűjtő szigetek számát, elhelyezkedését a modell 3. fázisában határozom meg. Az ehhez szükséges számítások során a szigetek kiszolgálási időközeit a családi házas területeket kiszolgáló hulladékgyűjtő járatokkal azonos gyűjtési időközöket felhasználva állapítom meg. A gyűjtőszigetek igényeit pedig az ezen időszak alatt keletkező; a környezetükben található társasházi (és az adott szegmensbe tartozó családi házas) gyűjtőkonténerek kapacitásának az 5-1. táblázatban szereplő hányadát képviselő hulladékmennyiségek összegével jellemzem:

$$q_{gysz} = \sum_{i=1}^n q_i \quad (5.1)$$

Ahol:

q_{gysz} - (3.29)- nek megfelelően az adott sziget szállítási igényét fejezi ki; azaz a két ürítés közt a sziget környezetében található háztartások által a szigetre vitt (csomagolási) hulladék mennyiségét adja meg,

i - az adott sziget környezetében található társasházak futóindexe, a társasházak száma n . Az adott sziget környezetének számító társasházakat az 5.9 fejezetben meghatározásra kerülő hozzárendeléssel definiálom,

q_i - a sziget környezetében található társasházakban élő háztartásoknál keletkező csomagolási hulladék mennyiségeinek összege, amit az adott társasházaknál rendelkezésre álló hulladékgyűjtő konténer(ek) térfogatának 30 % –ában rögzíték.

A dolgozat célja az általam kidolgozott térinformatikai modellezésen alapuló gyűjtőrendszer – tervezési módszer bemutatása, illetve annak igazolása, hogy az így felépített gyűjtőrendszer hatékonysága jobb a gyakorlatban jelenleg alkalmazottnál.

5.1.8 Járatok jellemzése

A gyűjtőjáratok modellezésének térinformatikai eszközei egyrészt lehetővé teszik a járatokat megvalósító járművek logisztikai jellemzőinek (pl. szállítási kapacitás) figyelembevételét, másrészt az úthálózat bejárásának körülményei határozhatók meg általuk.

A gyűjtési feladatot végző járműtípusokat a járművek térinformatikai adatbázisában egy- egy rekorddal definiáltam. A rekordok mezői a következők:

- járműtípus – azonosító,
- *sebességkorlát*: a járműtípusnak a szállítási tevékenységek során elérhető sebességére vonatkozó felső korlát,
- *gyűjtési kapacitás*: az egyes járművek által egy fordulóval (az indulási és érkezési pontok között) gyűjthető hulladék mennyisége, a járműtípus terhelhetőségének függvényében- az igények jellemzéséhez felhasznált mértékegységben kifejezve,
- *indulási – érkezési pontok*: a modellben a gyűjtő körjáratok egy kijelölt hulladékkezelő telephelyről indulnak, és ugyanide érkeznek vissza,
- *geometriai adatok*: hosszúság, szélesség, magasság,
- *súly*: a járműtípus önsúlya, illetve az igények kiszolgálása révén a gyűjtőtérbe kerülő hulladék súlya,
- a járatok járműveivel kapcsolatos, a hálózat bejárását meghatározó paraméterek:
 - *műveleti idők*: (a gyűjtőpontok ürítésein (az igények adatbázisában szereplő mező), illetve a jármű rakományának ürítésein (a kitüntetett objektumok adatbázisában szereplő mező) alkalmazott műveletek időigénye)
 - *átlagsebesség*: az úthálózat eltérő kategóriájú szakaszain más – más a gyűjtőjármű átlagos sebessége. A modellezés során a gyűjtőjármű átlagsebességét az útszakaszokhoz rendelt sebességkorlátozást alapul véve a 5-2. táblázat szerint vettem figyelembe:

5-2. táblázat: A gyűjtéshez kapcsolódó szállítás átlagsebességei

az úthálózaton előforduló sebességkorlátozások [km/h]	130	90	50	40	30
a figyelembe vett szállítási átlagsebesség [km/h]	100	80	45	40	30

A modell működése során, amennyiben a gyűjtést végző jármű típusára vonatkozó sebességkorlát alacsonyabb, mint az aktuális útszakaszra vonatkozó szállítási átlagsebesség, úgy azon az útszakaszon a jármű átlagsebességét a kisebb értékkel határozom meg. A családi házas

területeken gyűjtő járatok gyűjtés közbeni átlagsebességét (két gyűjtőpont kiszolgálása közt) 5 km/h – ban rögzítem.

- *korlátozások*: az úthálózati rekordok szélességi-, magassági-, illetve súlyra vonatkozó korlátozásokat tartalmazó mezőinek értékét, valamint a jármű ezen paramétereit az egyes járatok útvonalainak meghatározása során figyelembe veszem. Ezzel biztosítom, hogy csak olyan járatútvonalak jöjjenek létre a modell 4. fázisának eredményeként, amelyek a modellezett járműtípusokkal meg is valósíthatóak.

5.1.9 A hulladékgyűjtő rendszer egyéb elemeinek jellemzése

A hulladékgyűjtő rendszerekben az eddig említett gyűjtőpontok, útvonalak, járművek stb. mellett egyéb speciális célú, helyhez köthető rendszerelemek vannak, melyek a térinformatikai rendszermodellből sem hiányozhatnak. A modellben ennek érdekében létrehoztam egy olyan adatbázist, melyben ezeket a rendszerelemeket rekordokként ábrázolom. Az ilyen rekordok mezői a következők:

- *rendszerelem* – azonosító
- *pozíció*: a pontként ábrázolt objektumok elhelyezkedése a 5.1.4 fejezetben részletezett WGS84 rendszerben értelmezendő szélességi és hosszúsági koordinátákat felhasználva

5.2 Az algoritmusok térinformatikai leképzése

5.2.1 Centrumkeresés

A társasházak területeken a szigetek helyének kijelölése érdekében a 3.2 fejezetben bemutatott matematikai módszert heurisztikával kombinálom. A modellben minden egyes társasházi terület szegmensre meghatározom a szükséges szigetek számát, majd úgy helyezem el őket a szegmensben, hogy a szegmenshez tartozó háztartások összes szállítási úthossza, miközben a hulladékukat a gyűjtőszigetre viszik, a lehető legkisebb legyen. Ha a szegmensben x darab gyűjtőedény van, és az ezekben keletkező hulladékmennyiségnek megfelelően a szegmensben y számú gyűjtősziget szükséges, akkor a gyűjtőedények elhelyezkedését potenciális gyűjtősziget – pozícióknak feltételezve az x darab edénypozíció közül y számú szigetpozíciót választok ki a centrumkeresés módszerével. A kiválasztás során a gyűjtőedények súlyozásához a térfogatukat használom, a szállítási út meghatározásához pedig az edényeknek az úthálózaton értelmezett egymástól való távolságát.

Az egy szegmensben elhelyezkedő gyűjtőedények száma bizonyos esetekben (nagy méretű szegmensek definiálása esetén) igen nagy lehet, ezért a feladat az NP – nehéz problémák (polinomiális időn belül meg nem oldható) körébe tartozik. Megoldásához a térinformatikai keretrendszerbe épített heurisztikát vettem igénybe, amelyre az alábbiak jellemzőek:

- a szigetpozíciók és a gyűjtőpont-pozíciók OD –mátrixának meghatározása,
- ennek alapján költségmátrix létrehozása a gyűjtőpontok súlyának figyelembevételével,
- Hillsman – dekompozíció alkalmazása [22] irodalom alapján (olyan kisebb méretű részgráfok létrehozása, amelyek esetében a megoldások egymástól függetlenül (polinomiális idő alatt) egzakt módszerekkel megtalálhatók),
- álvéletlen számok használatával nagyszámú megoldás generálása,
- az ezekhez tartozó gráfokon a pozíciókra vonatkozó Teitz – Bart féle helyettesítések elvégzésével (a megoldásban szereplő csúcspontok változtatásával) a jó megoldások egy csoportja áll elő,
- metaheurisztika alkalmazásával ezeket kombinálva az eredeti probléma megoldásainak keresése.

A metaheurisztika akkor áll le, ha már nincs olyan kombináció, amely jobb (azaz kisebb úttal jellemezhető) megoldást eredményez, vagy az egymást követő megoldások közt a célfüggvény értékében bekövetkező javulás egy előre meghatározott értéktől kevesebb.

- a megoldás kvázi – optimumként értelmezendő.

5.2.2 Gyűjtőjárat – tervezés VRP

Egy hulladékgyűjtő rendszer szolgáltatási területéhez már kisebb települések esetén is annyi háztartás (ezáltal szállítási igény) tartozik, mely polinomiális időn belül lehetetlenné teszi a járatok minimális költségű útvonalának megkeresését. Az NP- nehéz probléma megoldásához az alábbiakban vázolt heurisztikus eljárást alkalmazza a térinformatikai rendszer:

- a háztartások gyűjtőkonténereinek térfogatával jellemzett igények pozíciói és a hulladékgyűjtő központ között az úthálózaton értelmezhető legrövidebb távolságok alkalmazásával meghatározza az OD –mátrixot,
- ennek felhasználásával kezdeti megoldást generál; úgy, hogy a legkisebb költségű (legrövidebb) OD relációkat a többi igény egyenkénti hozzáadásával útvonalakká bővíti, az igények hozzáadása során mindig elvégzi az adott útvonalon már összegyűjtött hulladékmennyiség összehasonlítását a gyűjtőjárat – típusok gyűjtési

kapacitásával. Csak olyan hosszú járatútvonalak jöhetnek létre, amelyekkel az összegyűjtött hulladékmennyiség a járatok kapacitását nem haladja meg. További kitétel, hogy minden egyes igénynek kisebbnek kell lennie e járatok gyűjtési kapacitásától. A kezdeti megoldás javításához egyaránt alkalmazza:

- az egyes útvonalakhoz tartozó igények kiszolgálási sorrendjének felcserélését,
- illetve az igények áthelyezését az egyes útvonalak közt.

Ezen javítások során a lokális szélsőértékek elkerülése érdekében tabulistas metaheurisztikus eljárást [23] alkalmaz. Ennek lényege, hogy a javítások iterációi során – azaz az egymástól csak valamely igény cseréjében különböző szomszédos megoldások keresése közben – lokális szélsőérték megtalálása esetén a hagyományos szélsőérték-kereső algoritmusok leállnak, nem lévén a célfüggvény megfelelő változásával járó szomszédos megoldás. A tabukeresés viszont ezt a leállást akadályozza meg oly módon, hogy az egyes iterációs lépések olyan irányba is folytatódhatnak, amely ugyan nem jár a célfüggvény értékének kedvező változásával, de az általuk generált megoldás még nem szerepel a tabulistán. Ha ilyen módon a már meglévő eredményektől rosszabb megoldás keletkezik, az a tabulistára kerül, kiszorítva a legrégebben listázott tabuelemet. A tabulista folyamatos karbantartása révén jobb az algoritmus hatékonysága is, mint a hagyományos szélsőérték kereső eljárásoké, hiszen a listán már szereplő megoldásokat többször nem értékeli ki az eljárás.

A járattervezés az általam kidolgozott hulladékgyűjtő rendszer-tervező modell 4. fázisát képezi, azaz a tervezési folyamat során akkor alkalmazom, amikor már a szolgáltatási területen megkülönböztettem egymástól a családi házas és társasházak területeket. A modell futása során két, egymástól független igényhalmazon használom a járattervező algoritmust:

- egyrészt a családi házas területek házhoz rendelt gyűjtéséhez,
- másrészt a hulladékgyűjtő szigetek körjáratban történő ürítéséhez.

5.3 Ábrázolás, illusztrációk

A térinformatikai eszköz a kiindulási adatokat, a modellt és annak eredményét is hatékonyan jeleníti meg. Ezen eszköznek a hulladékgyűjtő rendszer tervezéséhez való felhasználása pontosan azon a felismerésen alapul, hogy a szolgáltatási terület hagyományos leírásához használt adatbázisok sok olyan információt is hordoznak, amelyek a hagyományos tervezési eljárásokkal nem dolgozhatók fel. Ezen információk a különböző típusú lakóépületekben élő háztartások térbeli elhelyezkedésének vizsgálata révén nyerhetők ki a hulladékgyűjtést

végző szolgáltató által karbantartott ügyféladatbázisból. Az általam kidolgozott modellezési eljárások szoros kapcsolatban vannak a szolgáltatási területtel, ezért a működésük, eredményeik, hatékonyságuk bemutatása is valós adatbázist igényel.

Az általam kidolgozott hulladékgyűjtő rendszer – tervezési eljárások bemutatása érdekében Miskolc város valós adatait tartalmazó mintaterületet képeztem le térinformatikai adatbázisokba. Az ehhez szükséges kiindulási adatok felhasználhatóságát a területen működő, hulladékgyűjtő közszolgáltató vállalat, az AVE Miskolc Környezetvédelmi és Hulladékgazdálkodási Kft. biztosítja a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. – vel közös K+F tevékenysége keretében.

5.4 A térinformatikai platform bemutatása

A hulladékok szelektív gyűjtésének hatékonyságát a szolgáltatási terület térbeli információinak felhasználásával javítani szándékozó, gyűjtőrendszer- tervezési modell létrehozását ArcGIS platformon, a Network Analyst bővítmény szolgáltatásainak igénybevételével, Modelbuilder alkalmazásfejlesztő környezetben végeztem.

A térinformatikai szoftverek piacán előkelelő helyet foglal el az ESRI (Environmental Systems Research Institute) ArcGIS termékcsaládja. A cég úttörőnek számít a térbeli adatok feldolgozásával való információ- előállítás területén. Az ESRI 1969 óta foglalkozik az általuk földrajzi információs rendszernek nevezett alkalmazás- együttes elemeinek fejlesztésével (GIS – Geographic Information System). Számos iparági szabványnak minősülő adatstruktúra és az informatika területén újdonságnak számító technológia kidolgozóiként váltak mára a legismertebb térinformatikai megoldás- szállítókká.

5.4.1 ArcGIS

Az ArcGIS szoftver használata lényegében egy, a térbeli információk létrehozásával, vizualizációjával, elemzésével, értelmezésével, és a vizsgálatok eredményeinek publikálásával foglalkozó munkafolyamat. Összetett térbeli elemzéseket lehetővé tevő-, kiterjedt adatkezelési műveleteket végző-, illetve a térképkészítést segítő eszközök révén a vizsgálni szándékozott rendszerekre, folyamatokra vonatkozóan olyan modellek hozhatók létre, melyek képesek kezelni az adatok között meglévő – térbeli vetülettel rendelkező összefüggéseket.

A szoftver főbb jellemzői:

- valamennyi szabványos, térbeli jelentéssel bíró adattípus támogatása,
- adatintegráció és adatbázis- kezelés megvalósítása (létrehozás, sémák definiálása, az integritás adminisztrációja),

- szerkesztő- és koordinátageometriai eszközök az adattervezés, adatbevitel és adattisztítás műveleteinek elvégzéséhez,
- térképsablonok, térképelemek használatával részben automatizálható a térképkészítés, emellett térképi tartalomszolgáltatók alaptérképei és kereskedelmi adatok is hozzáférhetőek.

5.4.2 Network Analyst

Különböző szakág – specifikus igények kiszolgálása érdekében az ArcGIS – hez bővítmények vehetők igénybe, melyek speciális funkciókat biztosítanak. A network analyst olyan ArcGIS – bővítmény, mely hálózatok leírásához szükséges eszközöket tartalmaz. Ez a bővítmény beépített algoritmusokat kínál a következő logisztikai feladatok megoldására:

- útvonaltervezés,
- OD –mátrix elkészítése,
- eszköz – feladat hozzárendelés,
- járattervezés.

A hulladékgyűjtő rendszer tervezését segítő modell felépítésekor a járattervező algoritmus szolgáltatását vettem igénybe. Ez azt jelenti, hogy a járattervek elkészítéséhez szükséges heurisztikát megvalósító programmodult (az 5.5 fejezetben részletezésre kerülő módon) szolgáltatásként ágyaztam be a komplex rendszertervezést végző, általam készített modell környezetébe.

5.4.3 ModelBuilder

A ModelBuilder az ArcGIS speciális, objektumorientált programozási nyelve. Használata során az egyes objektum típusokat és a metódusaikat geometriai alakzatokkal jelképezve a modell mozaikszerűen építhető fel. Az objektumok paramétereinek megadására, működésük befolyásolására VisualBasic, valamint Python kódrészletek beágyazására van lehetőség. A térinformatikai adatbázisok kezeléséhez a ModelBuilder SQL- parancsok és lekérdezések szerkesztésére is lehetőséget nyújt.

A gyűjtőrendszer – tervezési feladatot ellátó modell létrehozását ModelBuildert használva végeztem el. A dolgozat 1. számú Melléklete tartalmazza a ModelBuilder – szimbolikával megjelenített folyamatábrákat és a hozzá kapcsolódó Python kódokat, melyek a rendszertervezés 4 fázisát megvalósítják.

5.5 A szimulációs vizsgálatok kiértékelésének elméleti háttere

A hulladékgyűjtő rendszer tervezését elvégző modell számos olyan vizsgálati lehetőséget tartalmaz, melyek az egyes fázisok paramétereinek változtatásával valósíthatók meg. Ezen paramétereket az 5-13. táblázat segítségével ismertetem. Amennyiben a tervezéskor elvégezni kívánt vizsgálatok során sok, a modell eredményeire befolyással bíró paraméter figyelembevétele szükséges, úgy a (3.32) által definiált teljesítménytényezők szerinti leghatékonyabb gyűjtőrendszer kiválasztásához nem elegendők a hagyományos szélsőérték- kereső eljárások. Ilyen esetben a rendszer tervezéséhez felhasznált szimulációs vizsgálatok során figyelembe kell venni az alábbi körülményeket is:

- sztochasztikus jellegű folyamatok sztochasztikus paramétereinek kezelésére kell képesnek lenni,
- a vizsgálatokhoz alkalmazott modellek megalkotásánál különféle megkötéseket és peremfeltételeket kell figyelembe venni,
- a vizsgálatok a során sok paramétert tartalmazó, több célfüggvényes optimalizálásra van szükség, maximáló és minimáló célfüggvények egyidejű alkalmazása-, vagy súlyozott célfüggvény kezelés is szükséges lehet,

5.5.1 Az optimalizálás általános elve

Amennyiben a szimulációs vizsgálatok eredményeit mátrixos formában jelenítjük meg, az (5.2) összefüggéshez jutunk:

$$M = \begin{bmatrix} M(i, j) \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

ahol:

i - a figyelembe vett célfüggvények futóindexe,

m - a figyelembe vett célfüggvények száma,

j - a megoldási paraméterváltozatok futóindexe,

n - a megoldási paraméterváltozatok száma,

$M(i, j)$ - a j . megoldás i . célfüggvényének értéke.

A célfüggvények eltérő dimenziójúak, minimalizáló és maximalizáló célfüggvény is előfordul. Az optimális megoldás megtalálása érdekében a fenti problémákat a célfüggvények normalizálásával lehet feloldani.

Egy normalizált célfüggvény az M mátrix felhasználásával a következő alakban írható fel:

$$N(i, j) = \frac{M(i, j)}{M_{opt}(i)} \quad (5.3)$$

ahol:

$N(i, j)$ - a j . megoldás (paraméterváltozat) i . célfüggvényének normalizált értéke, mely 0 és 1 között változik. Az 1 –értéket $N(i, j)$ az optimumnál veszi fel.

$M(i, j)$ - a j . megoldás i . célfüggvényének értéke,

$M_{opt}(i)$ - pedig az i . célfüggvény optimális értéke.

A célfüggvények optimumát az alábbiak szerint lehet képezni, amennyiben az i . célfüggvény optimális értéke minimalizálással kapható:

$$M_{opt}(i) = \min_j \{M(i, j)\}; \quad (j=1, \dots, n) \quad (5.4)$$

Ha pedig az i . célfüggvény optimális értéke maximalizálással kapható, akkor az előbbi összefüggés (5.4) –re módosul:

$$M_{opt}(i) = \max_j \{M(i, j)\}; \quad (j=1, \dots, n) \quad (5.5)$$

Ha minimalizálásokra akarom a feladatot visszavezetni és az i . célfüggvény minimalizáló:

$$C(i, j) = 1 - \frac{M_{opt}(i)}{M(i, j)}; \quad (i=1, \dots, m), (j=1 \dots n) \quad (5.6)$$

Ugyanez maximalizáló i . célfüggvény esetén:

$$C(i, j) = 1 - \frac{M(i, j)}{M_{opt}(i)}; \quad (i=1, \dots, m), (j=1 \dots n) \quad (5.7)$$

Ahol a C mátrixban olyan normalizált célfüggvények szerepelnek, melyek értékeire a következő összefüggés érvényes:

$$0 \leq C(i, j) \leq 1; \quad (i=1 \dots m), (j=1 \dots n) \quad (5.8)$$

Az (5.6),(5.7),(5.8) összefüggések felhasználásával tehát egységesen minimalizálással lehet keresni az optimális megoldást.

Ha a feladatot maximalizálásokra akarom visszavezetni és az i . célfüggvény minimalizáló, (5.6) analógiáját felhasználva:

$$D(i, j) = \frac{M_{opt}(i)}{M(i, j)}; \quad (i=1 \dots m), \quad (j=1 \dots n) \quad (5.9)$$

Ugyanez maximalizáló i . célfüggvény esetén (5.7) –tel analóg módon:

$$D(i, j) = \frac{M(i, j)}{M_{opt}(i)}; \quad (i=1 \dots m), \quad (j=1 \dots n) \quad (5.10)$$

Ahol a D mátrixban olyan normalizált célfüggvények szerepelnek, melyek értékeire a következő feltétel érvényes:

$$0 \leq D(i, j) \leq 1; \quad (i=1 \dots m), \quad (j=1 \dots n) \quad (5.11)$$

A D mátrixban foglalt normalizált célfüggvények segítségével (5.9), (5.10), (5.11) felhasználása révén egységesen maximalizálással lehet keresni az optimális megoldást.

Az optimális paraméter változat megkeresésére többféle módszert lehet alkalmazni. Ezek a következők:

- Legyen maximális a normalizált célfüggvények súlyozott összege

a j . megoldás súlyozott normalizált célfüggvényének értékét (5.12) összefüggés mutatja:

$$\varepsilon(j) = \sum_{i=1}^m D(i, j) \cdot K(i) \quad (5.12)$$

ahol:

$K(i)$ - az i . célfüggvény súlytényezői, melyre igaz a (5.13) összefüggés:

$$0 \leq K(i) \leq 1, \quad \sum_{i=1}^m K(i) = 1 \quad (5.13)$$

az optimális paraméterváltozat (5.14) alapján határozható meg:

$$\varepsilon_{opt} = \max_j \{\varepsilon(j)\}; \quad (j=1, \dots, n) \quad (5.14)$$

Ezt a módszert akkor érdemes használni, ha megbízhatóan ismertek az egyes célfüggvények súlytényezői.

- Legyen maximális a minimális normalizált célfüggvény értéke

a j . megoldás normalizált célfüggvényeinek minimumát az (5.15) összefüggés mutatja:

$$Z(j) = \min_i \{D(i, j)\}; \quad (i=1, \dots, m) \quad (5.15)$$

az optimális paraméterváltozat a következők alapján határozható meg:

$$Z_{opt} = \max_j \{Z(i, j)\}; \quad (i=1 \dots n) \quad (5.16)$$

- Legyen maximális a normalizált célfüggvények átlagos kihasználási foka

a j . megoldás normalizált a célfüggvényeinek átlagos kihasználási fokát mutatja az (5.17) összefüggés:

$$\varepsilon(j) = \sum_{i=1}^m D(i, j) \quad (5.17)$$

az optimális megoldás ennek alapján:

$$\varepsilon_{opt} = \max_j \{\varepsilon(j)\}; \quad (j=1, \dots, n) \quad (5.18)$$

- Lépcsőzetes optimálás

A megoldáshalmazon a célfüggvények meghatározott sorrendjében végighaladva, a megoldáshalmazt minden egyes célfüggvény vizsgálata esetén előre meghatározott módon szűkítve elérhető egy optimum a következők szerint:

- legyen pl. az első célfüggvény értéke egy előírt értéktől (E_1) nagyobb. Ha $M(1, j) < E_1$; akkor ezen megoldások kiesnek a további lépcsők vizsgálataitól. Az M megoldásmátrix így egy kisebb méretű M_1 mátrixra módosul.
- legyen pl. a második célfüggvény értéke egy adott értéktől (E_2) nagyobb. Az M_1 mátrix az előző gondolatmenetnek megfelelően egy még kisebb M_2 mátrixra módosul.

A 3., 4., stb. lépcsőkben a célfüggvények mindegyikének vizsgálatát követően kapott megoldás lokális optimumként kell értelmezni, ugyanis a célfüggvények figyelembevételi sorrendjétől függ. Ez a sorrend tehát döntő befolyással bír a végső eredményre, ezért a célfüggvények fontosságát figyelembe véve kell megválasztani.

- Játékelmélet

Ha a célfüggvények súlyozási tényezői nem ismertek, akkor a játékelmélet felhasználása vezethet eredményre, mert feladatot tekinthetjük olyan kétszemélyes, zérőösszegű stratégiai játéknak, ahol az egyik játékos a célfüggvények, a másik pedig a paraméter alternatívák közül választhat. Az ilyen játékban létezik mindkét fél számára optimális stratégia (így nyeregpont is), mégpedig az egyéni tiszta stratégiák tervezetten véletlen keveréke. Az (5.6) összefüggésben definiált C mátrix felhasználásával a nyeregpont a következőképp kapható:

$$\min_j \left\{ \max_i C(i, j) \right\} = \max_i \left\{ \min_j C(i, j) \right\}; \quad (j = 1 \dots n), \quad (i = 1 \dots m) \quad (5.19)$$

$C(i, j)$ értelmezéséből következik, hogy a C mátrix minden sorában legalább egy nulla található, ezért:

$$\min_j \{C(i, j)\} = 0; \quad (j = 1 \dots n) \quad (5.20)$$

(5.19) alapján nyeregpont csak akkor állhat fenn, ha:

$$\max_i \{C(i, j)\} = 0; \quad (i = 1 \dots m) \quad (5.21)$$

Nyeregpont tehát csak akkor van, ha létezik egy olyan paraméter változat, amelynél minden célfüggvénynek optimális értéke van. Ebben a speciális esetben az optimális változat magától értetődően adódik.

Általános esetben nincs nyeregpont, az optimális megoldást csak kevert stratégia alkalmazásával, azaz az egyes stratégiák véletlenszerű váltogatásával lehet elérni. Az optimális stratégia az egyes stratégiák relatív gyakoriságának optimumát jelenti:

$$X^T C y_0 \leq X_0^T C y_0 \leq X_0^T \cdot C \cdot y \quad (5.22)$$

ahol:

X^T és y a relatív gyakoriságot kifejező vektorok, melyekre:

$$\sum_{j=1}^n X_j = 1; \quad X_j \geq 0 \quad \text{és} \quad \sum_{j=1}^n y_j = 1; \quad y_j \geq 0 \quad (5.23)$$

ebben az esetben a játék értéke:

$$\Gamma = X_0^T \cdot C \cdot y_0 \quad (5.24)$$

ahol:

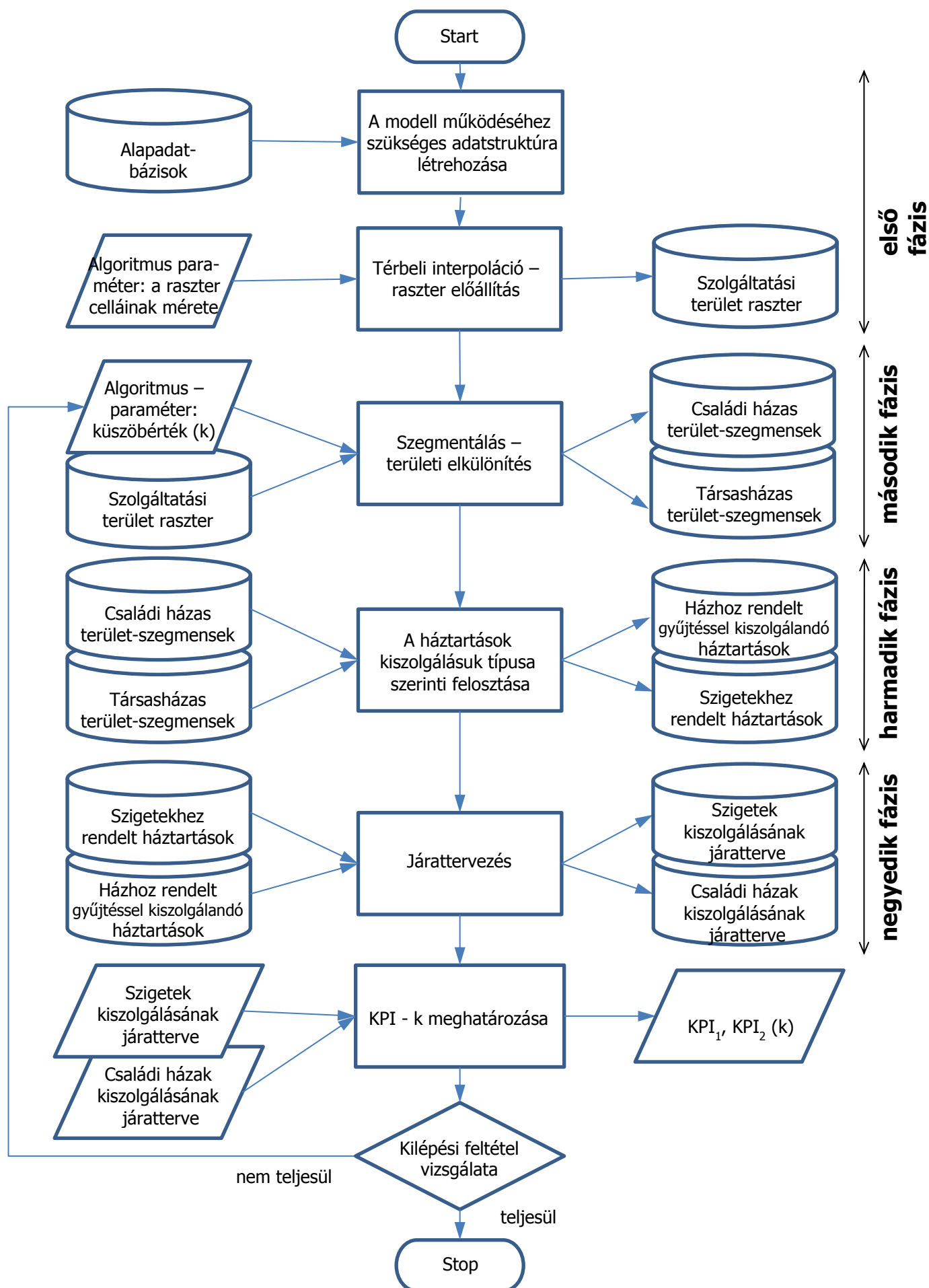
$X_0(i)$ az i . $y_0(j)$ pedig a j . paraméter- változat optimális gyakorisága, így a feladat X_0^T és y_0 vektorok keresésében fogalmazható meg.

5.6 A rendszertervező modell felépítése, működése

Az objektumok térbeli jellemzőit figyelembe vevő hulladékgyűjtő- rendszert adott szolgáltatási terület esetén iterációs lépésekkel alakítom ki. Ennek során a 3.4 fejezetben definiált KPI értékektől függő visszacsatolás alapján a szolgáltatási terület más- más (családi házas és társasházak területekre történő) területi felosztásai készülnek, mégpedig olyanok, amelyek révén magasabb KPI- értékekkel jellemezhető járattervek készülhetnek. Az iterációs lépések mindegyike az 5-5. ábra megjelenített tevékenység-halmaznak – azaz a modell négy fázisának – végrehajtását jelenti. Ezen tevékenységek összessége a gyűjtőrendszer kialakítására vonatkozó olyan szimulációnak fogható fel, mely:

- az első fázisban az adott iterációs lépésben aktuális paramétereknek megfelelően összeállítja a modell futtatásához szükséges adatstruktúrát; beleértve a hulladékgyűjtő edény- térfogatok területi eloszlását mutató raster elkészítését is,
- a második fázisban felosztja a szolgáltatási területet családi házas és társasházak övezetekre,
- a harmadik fázisban meghatározza a társasházak övezetekben szükséges gyűjtőszigetek számát és elhelyezkedését,
- a negyedik fázisban pedig minimális gyűjtési úthosszakkal jellemezhető járatterveket készít külön a családi házas háztartások-, külön a gyűjtőszigetek kiszolgálására.

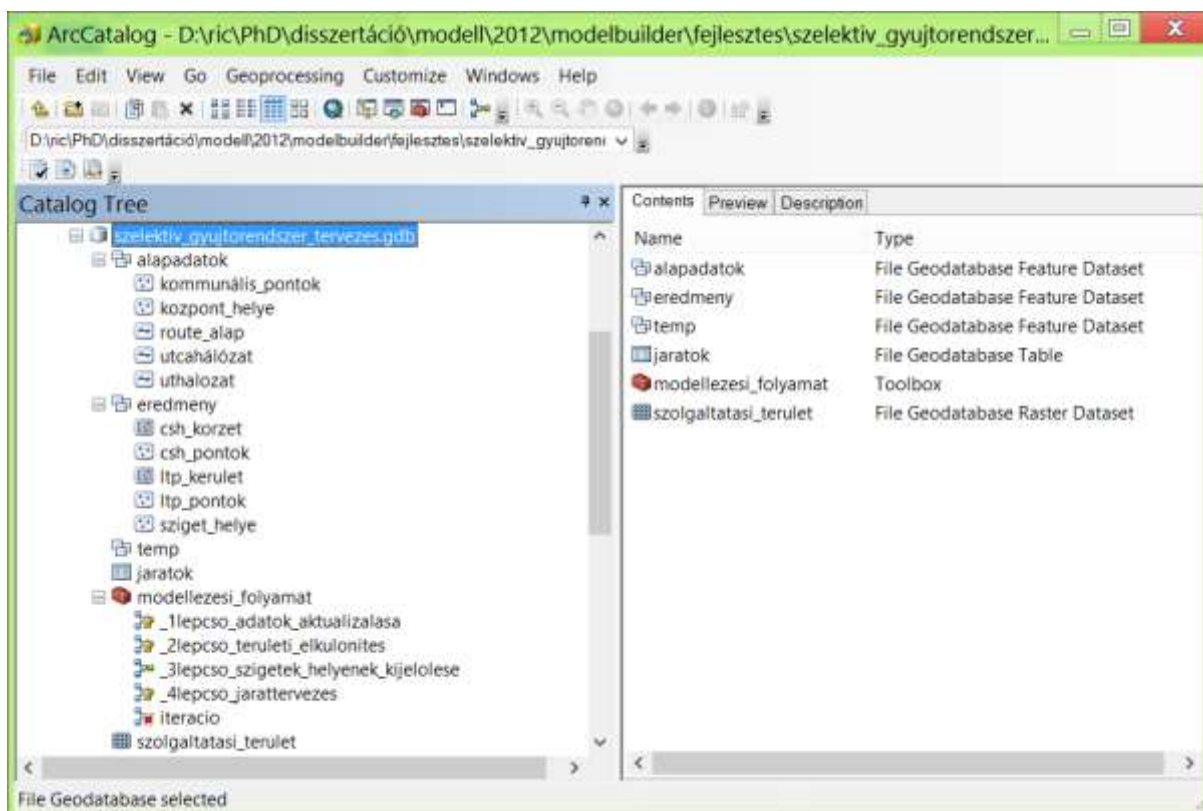
Minden fázis kiinduló adatként használja fel az öt megelőző fázisok által előállított eredményeket. A negyedik fázis befejezését követően, a következő iterációs lépés előtt kerül sor a KPI – k kiértékelésére, amelynek az eredményétől függenek a következő iteráció során alkalmazott paraméterek értékei.



5-5. ábra: A gyűjtőrendszer tervezését elvégző térinformatikai modell elvi vázlata

5.7 Térinformatikai alapadatbázis összeállítása (1. fázis)

A rendszertervezést megvalósító modell első fázisának feladata az 5.1 fejezetben definiált adatstruktúra frissítése a folyamatban lévő iteráció aktuális lépésének megfelelően. Az adatstruktúra tartalmazza mindazon adatokat, amelyekre a rendszertervezést végző modell további fázisaiban szükség van. Ezeket az adatokat egy geoadatbázisban tárolom. Az 5-6. ábra mutatja ennek az adatbázisnak a felépítését.



5-6. ábra: A gyűjtőrendszer-tervezést megvalósító modellhez szükséges adatokat tartalmazó geoadatbázis tartalmának megjelenítése

A dolgozat célkitűzéseit megvalósító gyűjtőrendszer-tervező modellt és annak adatait tartalmazó geoadatbázis (File Geodatabase) neve: *szelektiv_gyujtorendszer_tervezes.gdb*. A fájlszervezésű adatbázisban az állományok típusai szerint négy csoportot különböztettem meg:

- Az *alapadatok*, *eredmeny* és *temp* nevű gyűjtők (Feature Dataset) rendre az objektumok kiinduló-, eredmény-, és munkaközi, ideiglenes rekordjait tartalmazzák.

- A *jaratok* nevű táblázat listaszerűen tartalmazza a modell negyedik fázisának végeredményét, a családi házak gyűjtőedényeinek – és a gyűjtőszigeteknek a kiszolgálási sorrendjét.
- A *modellezési_folyamat* nevű állomány az adatalemeket kezelő metódusokat tartalmazza, melyek modelbuilder – szimbolikával és python nyelven készültek. Ezek az adatalemekkel együtt alkotják a hulladékgyűjtő – rendszert tervező modellt. Ezen modell futtatása révén készítettem el a gyűjtőrendszer hatékonyságának elemzésére irányuló szimulációs vizsgálatokat, a rendszer paramétereinek változtatásán alapuló iterációs lépések formájában.
- A *szolgálatasi_terulet* nevű állomány (Raster Dataset) a térbeli interpoláció eredményét, a szolgáltatási területen elhelyezkedő gyűjtőedények – méretei szerint felépített rasztert tartalmazza. Ezen raszter alapján végzem el a szolgáltatási terület felosztását családi házas és társasház szegmensekre.

Az *alapadatok* adattáblái a szolgáltatási területet az igénybevevő háztartások elhelyezkedése és a gyűjtőedényeik térfogata-, valamint a rajta elhelyezkedő úthálózat szempontjából jellemzik. Emellett, mivel ugyancsak az alapadatok közé tartozik, így ez az állomány tartalmazza a hulladékkezelő központ elhelyezkedését is. Az alapadatokat jeleníti meg az 5-7. ábra.



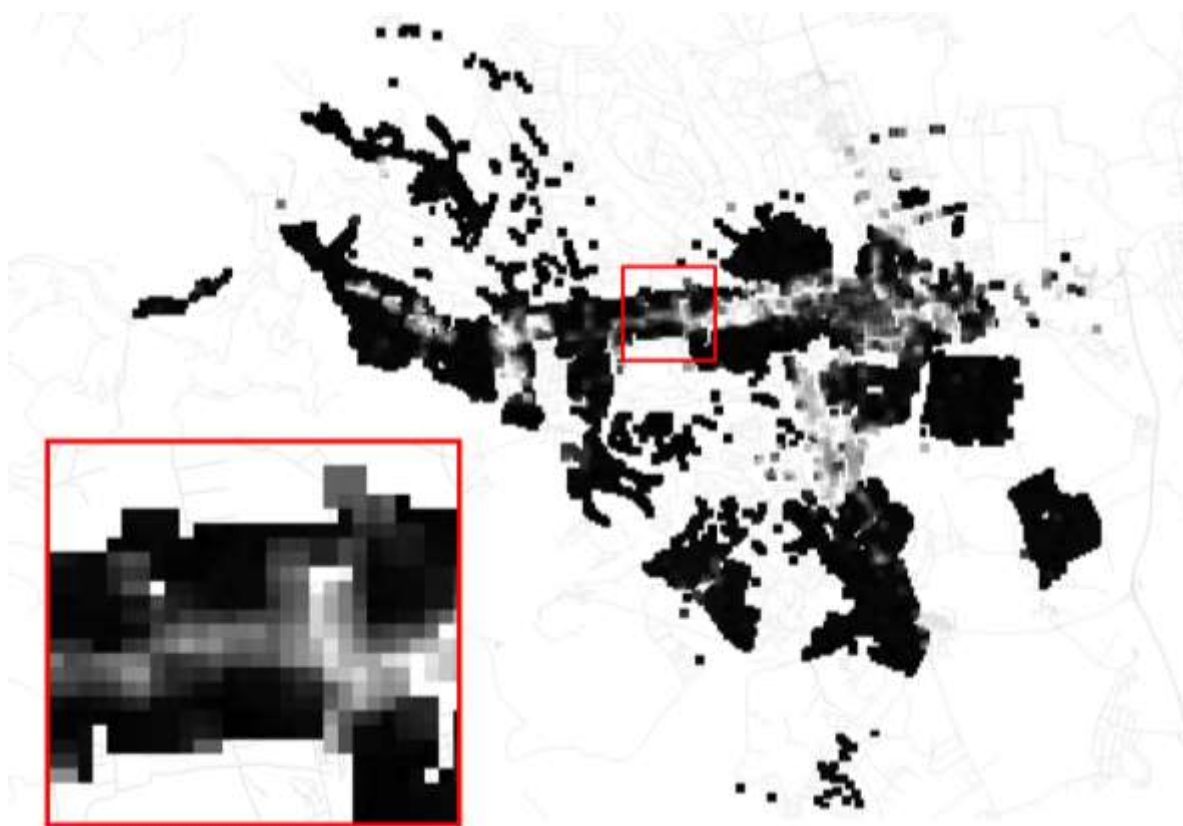
5-7. ábra: A térinformatikai alapadatok ábrázolása

Az 5-7. ábra az úthálózatot vonalakkal, a hulladékkezelő központot négyzettel, a hulladékgyűjtési szolgáltatást igénybe vevő háztartásokat pedig körökkel szimbolizálja.

Az *eredmeny* adattáblák a szimuláció futtatása révén készülnek el. A *csh_korzet* és *lt_p_korzet* nevű táblák a családi házas és társasházak terület – szegmenseket tartalmazzák. A *csh_pontok* és az *lt_p_pontok* az egyes csoportok szerint megkülönböztetett háztartások elhelyezkedését tartalmazzák. A *sziget_helye* nevű állomány tartalmát pedig a társasházak területeken elhelyezett gyűjtősziget- objektumok alkotják.

A *modellezési_folyamat* a szimulációs modell fázisait megvalósító részekre osztva tartalmazza az adatkezelő metódusokat és a szimulációs vizsgálatokhoz szükséges kódrészleteket.

Az *alapadatok* közt a *kommunalis_pontok* – névvel jelzett tábla tartalmazza a háztartások elhelyezkedését és a gyűjtőedényük térfogatát. A táblában a társasházak épületekben élő háztartások igényeit a gyakorlatnak megfelelően közös, többnyire nagyméretű hulladékgyűjtő konténerek reprezentálják. A modell első fázisának feladata a gyűjtőedények térfogatának a szolgáltatási területen való megoszlását jellemző raszter elkészítése. Ehhez a *kommunalis_pontok.terfogat* –mező értékeit használom.



5-8. ábra: A hulladékgyűjtő edények térfogatának eloszlását a szolgáltatási területen leíró raszter

A raszter készítése során az 5.1.2 fejezetben meghatározott 50x50 méteres négyzetekkel fedem le a szolgáltatási területet, és egy négyzet értékét az 500x500 méteres környezetében található hulladékgyűjtő edények térfogatának átlagaként definiálom. Ezen műveletek eredményeként a négyzetek értékeit a legalacsonyabbtól (fekete) a legmagasabbig (fehér) terjedő szürkeskálán ábrázolva a 5-8. ábrát kaptam, mely az első fázis által célul kitűzött rasztert jeleníti meg.

A 5-7. ábra és az 5-8. ábra összehasonlításából látszik, hogy a háztartásokat ábrázoló (lila) pontok helyett olyan területek jelennek meg, melyek színe a terület hulladékgyűjtő edényeinek átlagos méretére utal. Minél világosabb a négyzetek színe, annál nagyobb edényekkel jellemezhető a négyzet által fedett terület, azaz annál több ott a társasház. Az igények jellemzésére szolgáló 5-1. táblázatnak megfelelően a fekete négyzetek környezetében 60-240 literes (átlagosan 100 literes), míg a fehér négyzetek környezetében csak 770, vagy 1100 literes (átlagosan 900 literes) gyűjtőedények találhatók; ezek jelentik a tisztán családi házas, illetve társasházias területeket.

5.8 A családi házas – és a társasházi háztartások területi megkülönböztetése (2. fázis)

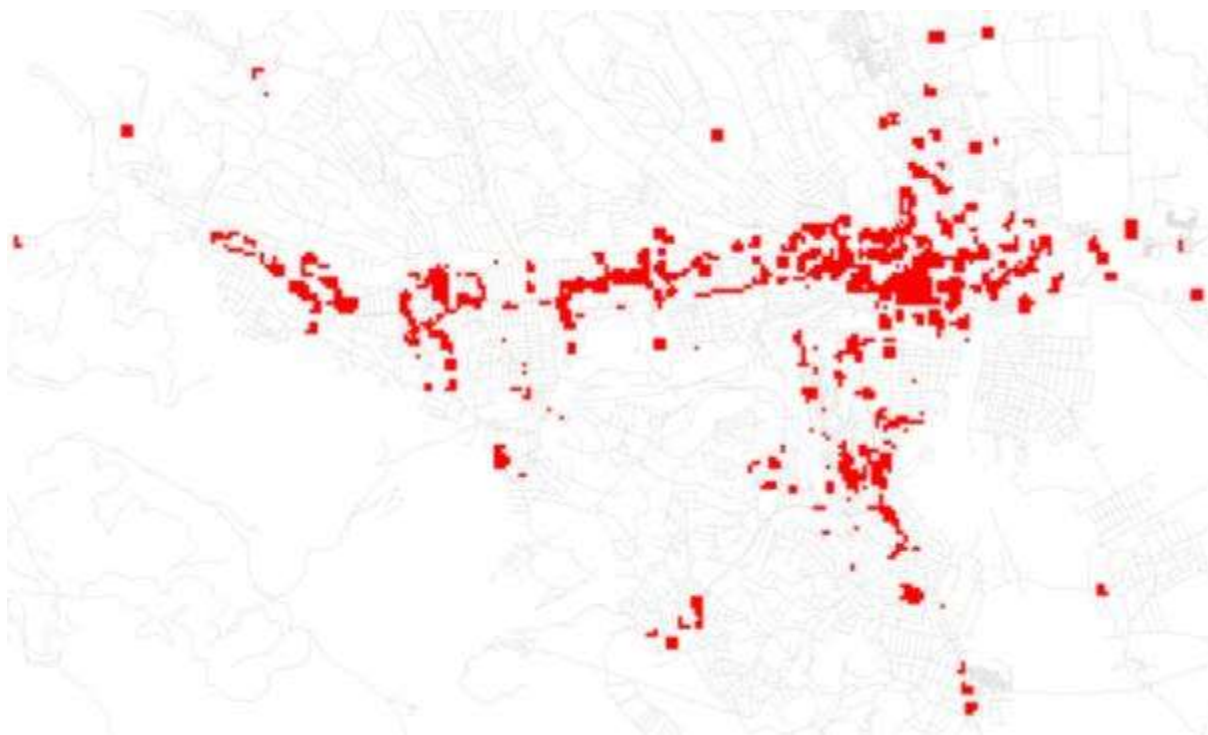
A megkülönböztetés célja a házhoz rendelt gyűjtőjáratok által kiszolgált háztartások és a gyűjtőszigetekhez rendelt háztartások területeinek kijelölése. A [3] szakirodalom leírja, hogy ún. *nőtt* települések esetén területileg nem választhatók el egymástól élesen a családi házas és lakótelepi jellegű településrészek, tehát a települések többsége ebből a szempontból fragmentált képet mutat.

Ennek megfelelően az 5-8. ábraán a különböző világosságú szürke négyzetek arra utalnak, hogy a környezetükben található gyűjtőedények átlagos mérete alapján azokat a területeket nem lehet az előző kategóriák egyikébe sem sorolni, ezt mutatja a 5-9. ábra. Látható, hogy az ilyen területek kiterjedése a szolgáltatási terület méretéhez képest is jelentős, valamint a 5-7. ábra összehasonlítva az is megállapítható, hogy nagyszámú háztartás helyezkedik el ezeken a területeken. Szükséges tehát a körvonalazott különbségtétel elvégzése az ilyen területek esetén is. Ennek érdekében definiálom a k küszöbértéket a négyzetek világosságértékeire (azaz az 50x50 méteres terület 500x500 méteres környezetében elhelyezkedő gyűjtőedények átlagos térfogatára) vonatkozóan, amelyet a megkülönböztetéshez a következők szerint használok fel:

- amennyiben a vizsgált négyzet világosságértéke k – től kisebb, az adott területet a családi házas területek közé sorolom,

- ha pedig az adott világosságérték k – nál nagyobb, úgy a területet társasházasnak tekintem.

A célom az adott szolgáltatási területen minél hatékonyabb gyűjtőrendszer kialakítása. A k küszöbérték definíciójából következő módon jelentős befolyást gyakorol a (3.30) – összefüggéssel meghatározott hatékonyságértékekre, hiszen k értékétől függően sorolom be a 5-9. ábra megjelenített; átlagos gyűjtőedény – térfogatok szempontjából vegyes képet mutató négyzeteket a családi házas, vagy társasházas területek közé. Ezen indok alapján a gyűjtőrendszer – tervező modell iterációját k paraméter változtatása révén mutatom be.



5-9. ábra: A raszter alapján be nem sorolható területek megjelenítése

5.8.1 Szegmentálás

A k felhasználásával a (3.5) és (3.6) összefüggéseknek megfelelően dolgozom fel a modell első fázisának egyik végeredményét; a szolgáltatási terület rasztert. Az 5-7. ábra, az 5-8. ábra és az 5-9. ábra is a $k = 175$ érték felhasználásával készített helyzetképet mutatja, a modell harmadik és negyedik fázisának ismertetése során is ezen küszöbértéket használom. Ennek értelmében a szegmentálás során a 175 liter alatti átlagos hulladékgyűjtő konténer- térfogatú környezettel jellemezhető területeket tekintem családi házas területeknek, az efölöttieket pedig a társasházak övezetek közé sorolom.

A 5-8. ábra négyzeteinek a küszöbérték azonos oldalára eső csoportjai közül az egymás szomszédságában lévők alkotják a szegmenseket. Minden egyes szegmensre meghatározom azokat a feltételeket, amelyek döntően befolyásolják a háztartások

viselkedését azon gyűjtősziget kiválasztása során, melyre a szelektíven gyűjtött hulladékaikat elszállítják. A 4. fejezetben rögzített peremfeltételeknek megfelelően kialakított szegmensek területét az akadályozó tényezők objektumait használva olyan részekre osztom, melyeken belül már nem találhatóak egyéb akadályok.

Ezt a műveletet az úthálózat hierarchiájának ismeretében, a szegmenseket a magasabb rendű utakkal felosztva mutatom be.



5-10. ábra: A szolgáltatási területen keresztülhaladó magasabbrendű utak megjelenítése

Az 5-10. ábra mutatja a (pirossal jelölt) társasházasszegmensek területének felosztását a vastag vonallal jelölt magasabb rendű utakkal. A felosztást követően az 5-3. táblázatban és az 5-4. táblázatban megadott számú szegmens jön létre. A szegmensek vázolt kialakítása során használt algoritmussal meghatározom az általuk lefedett területen elhelyezkedő háztartások gyűjtőkonténereinek összes térfogatát is, hogy felhasználhassam majd a modell következő fázisában a gyűjtőszigetek számának és elhelyezkedésének meghatározásakor.

Fontos tulajdonsága az általam készített gyűjtőrendszer-tervező modellnek, hogy a társasházasszegmensekké nyilvánított területeken elhelyezkedő családi házakat nem a házhoz rendelt gyűjtőjáratokkal szolgálja ki, hanem az ott keletkező hulladékmennyiségeket is figyelembe veszi a szigetek helyének kijelölése és gyűjtőkapacitásának meghatározása során.

5-3. táblázat: A társasházak területek szegmenseinek jellemző adatai

Sorszám	Szegmensterület [m ²]	Gyűjtő_térfogat [liter]	Sorszám	Szegmensterület [m ²]	Gyűjtő térfogat [liter]
1	331 727	39 765	17	240 816	17 469
2	190 322	15 336	18	222 754	28 560
3	256 010	38 364	19	221 097	14 472
4	300 498	25 029	20	191 199	22 632
5	293 084	23 973	21	189 567	25 026
6	222 775	27 600	22	168 474	8 532
7	170 003	11 388	23	162 875	14 793
8	191 193	13 491	24	155 216	16 632
9	354 249	10 713	25	154 943	7 800
10	1 082 968	87 711	26	148 254	17 436
11	861 054	57 618	27	143 954	9 528
12	765 644	79 005	28	143 748	8 889
13	622 737	78 498	29	140 896	26 862
14	613 480	79 740	30	108 077	8 019
15	564 150	41 601	31	126 006	2 109
16	249 552	23 424	Összesen	9 587 322	882 015

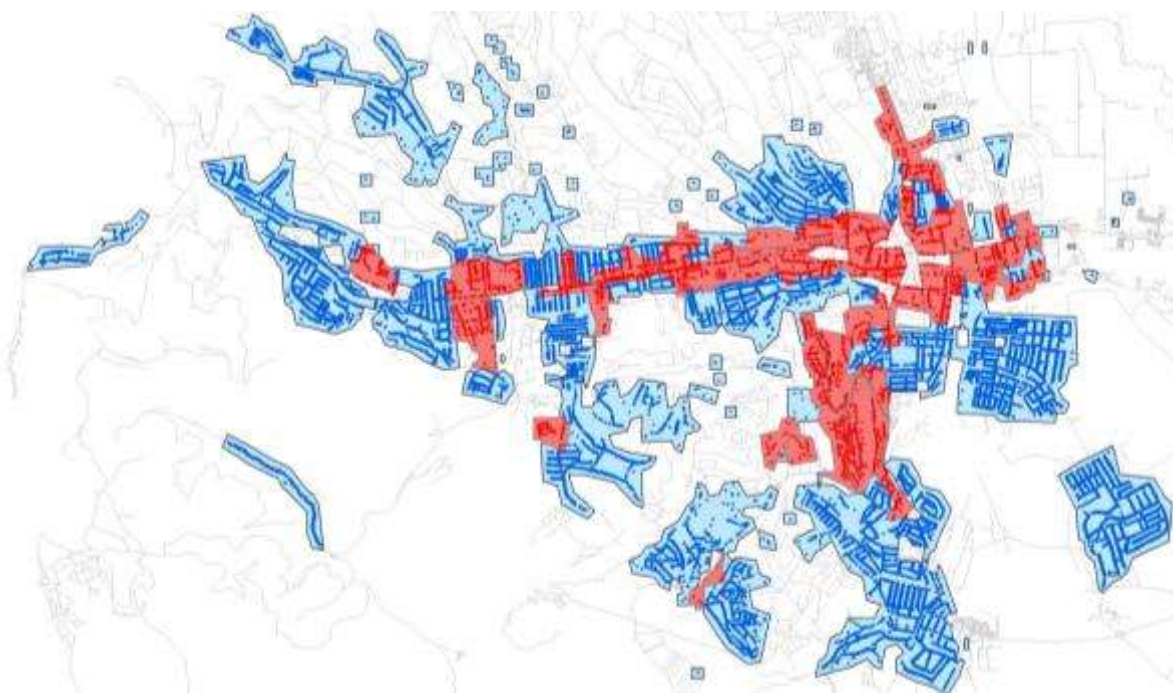
Az 5-3. táblázat szerint $k=175$ esetén a szolgáltatási területen 31 db, összesen mintegy 10km^2 – nyi területű társasházak szegmens alakítható ki, amelyeken majdnem 900 ezer literre tehető az ott élő háztartások összes hulladékgyűjtő konténerének térfogata.

Az 5-4. táblázat szerint $k=175$ esetén a szolgáltatási területen a családi házak 79 szegmenst alkotnak, melyek összesen több mint 30 km^2 területet foglalnak el. A 5-11. ábra mutatja a szolgáltatási terület kétféle szegmenseit ezen küszöbérték esetén; kék színnel a családi házas területeket, pirossal pedig a társasházak területeket ábrázoltam.

Az 5-3. táblázat és az 5-4. táblázat összevetése szerint a családi házas területek méretének összege majdnem a háromszorosa a társasházak területekének, viszont a gyűjtőedények össztérfogatának ugyanilyen aránya csak 2,4. Ez azt jelenti, hogy ugyanazon gyűjtőedény – térfogat családi házas szegmensekben nagyobb területen oszlik meg, mint társasházak szegmensekben. A gyűjtőjáratok tervezésének szempontjából ugyanez a megfigyelés úgy fogalmazható meg, hogy a társasházak területeken a hulladék koncentráltabban keletkezik, mint családi házas területeken, tehát gyűjtőszigetek elhelyezése az előbbi jellegű területek esetén indokoltabb.

5-4. táblázat: A családi házas területek szegmenseinek jellemző adatai

Sor-szám	Szegmens-terület [m ²]	Gyűjtő-térfogat [liter]	Sor-szám	Szegmens-terület [m ²]	Gyűjtő-térfogat [liter]	Sor-szám	Szegmens-terület [m ²]	Gyűjtő-térfogat [liter]	Sor-szám	Szegmens-terület [m ²]	Gyűjtő-térfogat [liter]
1	32 371	2 266	21	142 261	9 958	41	156 036	10 922	61	177 030	12 392
2	75 532	5 287	22	24 278	1 699	42	181 166	12 681	62	1 847	129
3	24 278	1 699	23	2 104 080	147 283	43	409 198	28 643	63	3 641	255
4	24 278	1 699	24	113 297	7 931	44	116 224	8 136	64	8 093	566
5	240 695	16 848	25	24 278	1 699	45	8 093	566	65	8 093	566
6	45 858	3 210	26	24 278	1 699	46	25 450	1 781	66	4 558 492	319 089
7	8 093	566	27	24 278	1 699	47	208 976	14 628	67	24 278	1 699
8	8 093	566	28	24 278	1 699	48	2 698	189	68	450 591	31 541
9	53 951	3 777	29	24 278	1 699	49	75 575	5 290	69	48 527	3 397
10	24 278	1 699	30	6 100	427	50	1 549 620	108 472	70	1 799 782	125 983
11	41 947	2 936	31	40 463	2 832	51	5 395	378	71	2 698	189
12	8 093	566	32	151 390	10 597	52	3 513 719	245 956	72	8 093	566
13	40 463	2 832	33	225 100	15 757	53	32 371	2 266	73	2 389 745	167 279
14	24 278	1 699	34	10 790	755	54	85 153	5 961	74	24 278	1 699
15	24 278	1 699	35	1 678 551	117 497	55	2 698	189	75	4 164 694	291 524
16	24 278	1 699	36	32 371	2 266	56	24 278	1 699	76	112 079	7 845
17	140 867	9 861	37	40 463	2 832	57	261 323	18 292	77	24 278	1 699
18	301 064	21 074	38	104 731	7 331	58	74 192	5 193	78	24 278	1 699
19	2 698	189	39	5 395	378	59	24 278	1 699	79	373 214	26 125
20	24 278	1 699	40	9 873	691	60	3 387 427	237 116	Összesen	30 327 803	2 122 910



5-11. ábra: A szegmentálás végeredményének megjelenítése (az egyes szegmensekben pöttyök mutatják az ott elhelyezkedő háztartásokat)



5-12. ábra: Az új tervezési elv alkalmazásának bemutatása

Az 5-12. ábra a szolgáltatási terület egy részletét mutatja a szegmentálásnak megfelelő színezetű szegmensekkel. Az ábra a jobb oldalán társasházak területét, a bal oldalán pedig családi házas területet ábrázol. Társasházak területén elhelyezkedő családi házak láthatók az ábra jobb felső sarkában. Az itt található háztartások a társasházakban élőkkel megegyező feltételekkel (azonos szállítási távolságokkal jellemezhető módon) tudják használni az ábrán sötétebb körökkel feltüntetett gyűjtőszigeteket. Emellett az 5.11 táblázatból kiolvasható, hogy a részletezett ($k=175$) küszöbérték használatával elkészített területi felosztás a házhoz rendelt gyűjtőjáratok úthosszát a legtöbb ilyen típusú területet előállító felosztáshoz képest (azaz $k=900$ esetén) több mint 20%-kal, kb. 800 km-ről mintegy 650 km-re csökkentette.

Az új elv alkalmazásával

- az [1], és a [21] szakirodalmak által a szelektív gyűjtés igénybevételére negatív hatással jellemzett; a gyűjtési rendszerrel való ellátottságot meghatározó ráhordási távolságot csökkentem a társasházak területén elhelyezkedő családi házas háztartások részére,
- ugyanakkor ezeket mégsem a kisebb hulladékkoncentrációval jellemezhető területeken hosszú gyűjtőkörutakat teljesítő házhoz rendelt járatokkal szolgálom ki,

- a kialakított gyűjtőrendszer hatékonyságát az ezen szempontokat mellőző kialakítású gyűjtőrendszerekhez képest jobbnak feltételezem.

A gyűjtőrendszert tervező modell iteráció révén, a küszöbérték változtatásával más –más területi felosztásokat készít. Más küszöbértéket választva az imént vizsgált arányok és értékek is másképp alakulnak. Az előző feltételezésemet igazoló adatsorokat (az 5.9 táblázat, az 5-11 táblázat és az 5-12. táblázat tartalmazza az iterációt leíró 5.11 fejezetben). A modell második fázisát megvalósító eljárások ModelBuilder – szimbolikáját és python kódját az 1. Melléklet ábrái tartalmazzák.

Az egyre kisebb küszöbértékek a társasházak területek növekedését jelentik (ennek szemléltetésére szolgál a 2. Melléklet). Ezzel párhuzamosan mind a gyűjtőszigetekről gyűjtött hulladékmennyiség, mind a gyűjtési úthossz is növekszik. A kisebb küszöbértékek eléréséig a gyűjtött mennyiség az úthossznál gyorsabban nő, tehát a hányadosuk is a kívánt irányban változik.

A $k=250$ -es érték elérése után azonban a gyűjtött mennyiséget szimbolizáló diagramszakaszok meredeksége kisebb lesz a gyűjtési úthossz ugyanilyen értékéhez képest. Ennek oka az, hogy egyre több, családi házakat tartalmazó területet sorolunk be a társasházak övezetek közé, így ezek kiszolgálására egyre több – és területileg egymástól egyre messzebbre eső – gyűjtőszigetet helyez el a modell a szolgáltatási területen. Emiatt a gyűjtőjáratok által megtett út az általuk gyűjtött hulladékmennyiségtől gyorsabban nő, a járatok teljesítménytényezője pedig romlik.

A második fázisban meghatározott adatok alapján ismertek tehát a társasházak szegmensek és a rajtuk elhelyezkedő gyűjtőkonténerek összes térfogata is. A harmadik fázis célja ezek alapján a gyűjtőszigetek számának és helyének olyan meghatározása, amely esetén a háztartások összes szállítási úthossza a lakásuk és a gyűjtőszigetek közt a lehető legkisebb. Ehhez a felhasználom a (3.7) – (3.11) összefüggéseket. Első lépésként az egyes szegmensekben elhelyezni kívánt szigetek számát kell meghatározni, amihez a következő adatok szükségesek:

- a peremfeltételek közt szerepel, hogy minden gyűjtősziget kapacitását 10 m^3 – nek tekintem, ez az A –adat,
- az 5-3. táblázatban szerepel a társasházi háztartások gyűjtő edényeinek térfogatösszege, liter mértékegységben, ez a B –adat,
- szintén a peremfeltételek közt szerepel, hogy a háztartások szelektív gyűjtés iránti igényeit a kommunális hulladék gyűjtésére szolgáló gyűjtőedényük 30%- át (C adat) jelentő átlagos elméleti térfogatarányban határozom meg [47] alapján.

Az egyes szegmensekben elhelyezni szükséges hulladékgyűjtő szigetek számát ezek alapján az (5.25) összefüggést használva számítom ki a modell harmadik lépcsőjének algoritmusaival:

$$p_{sz} = \frac{BC}{1000 A} \quad (5.25)$$

Az (5.25) összefüggéssel számolt gyűjtőszigetek számát szegmensenkénti bontásban az 5-5. táblázatban foglaltam össze.

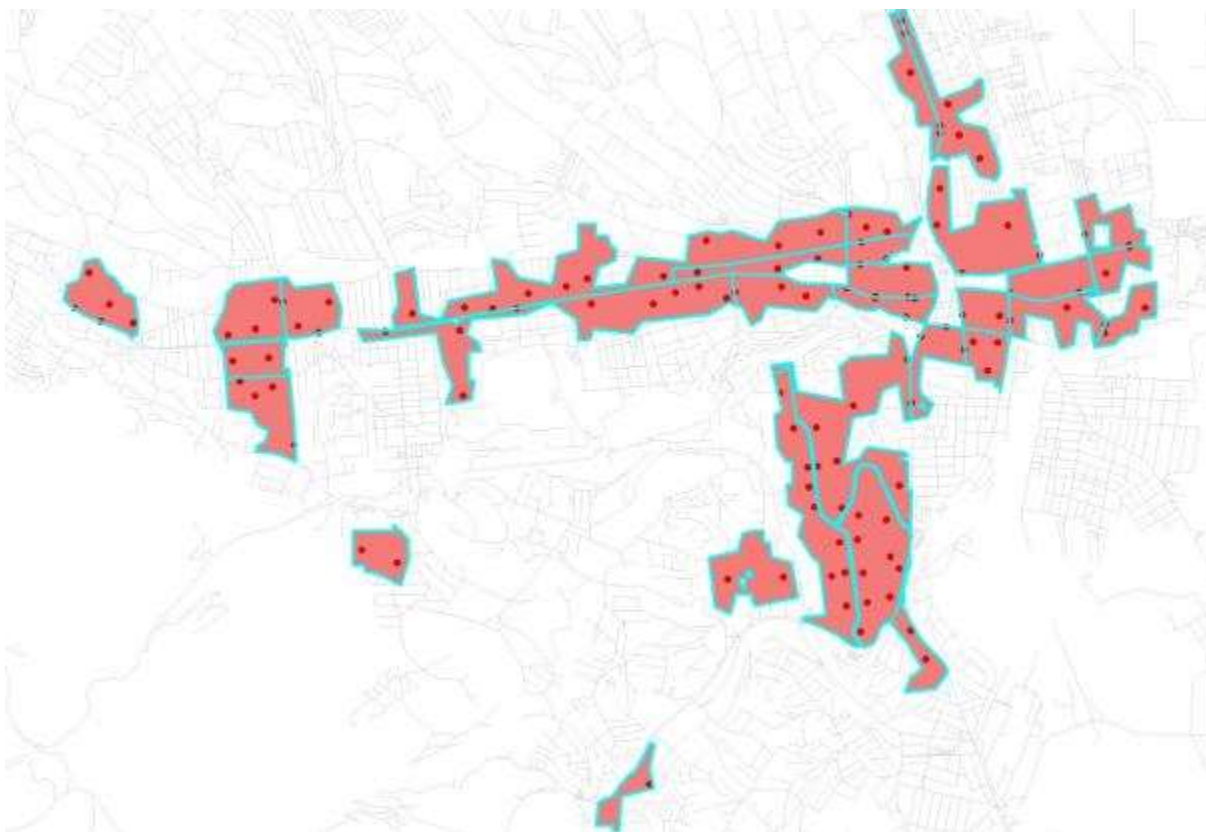
5-5. táblázat: A társasházass szegmensekben elhelyezni szükséges gyűjtőszigetek száma (k=175 esetén)

szegmens sorszám	Szigetek száma	szegmens sorszám	Szigetek száma
1	5	16	4
2	4	17	2
3	3	18	3
4	4	19	3
5	2	20	3
6	2	21	2
7	2	22	3
8	9	23	3
9	9	24	2
10	6	25	4
11	8	26	2
12	9	27	1
13	9	28	2
14	3	29	2
15	3	30	1

Az 5-5. táblázat alapján, amennyiben $k=175$, a társasházass területss háztartásainak maradéktalan kiszolgálásához összesen 121 db gyűjtőszigetre van szükség. Ez azt jelenti, hogy az (5.1) összefüggésnek megfelelően a szigetek kapacitásával megegyező térfogattal jellemezhető a háztartások szelektíven gyűjtött hulladékokkal kapcsolatos kiszolgálási (hulladékszálítási) igénye.

A harmadik fázis tevékenységeinek utolsó tagja végzi a meghatározott számú sziget megfelelő elhelyezését az egyes szegmensek területén. Ennek során az algoritmus működését úgy határozttam meg, hogy szegmensenként az összes (az 5-11. ábra megjelenített) társasházass háztartás elhelyezkedését potenciális gyűjtősziget – pozíciónak tekintettem. Ezek közül választottam ki azokat, amelyek a szegmensbeli háztartások összessége számára a legkisebb összes szálítási utat eredményezik.

A centrumkeresési folyamat végeredményét mutatja az 5-13. ábra.

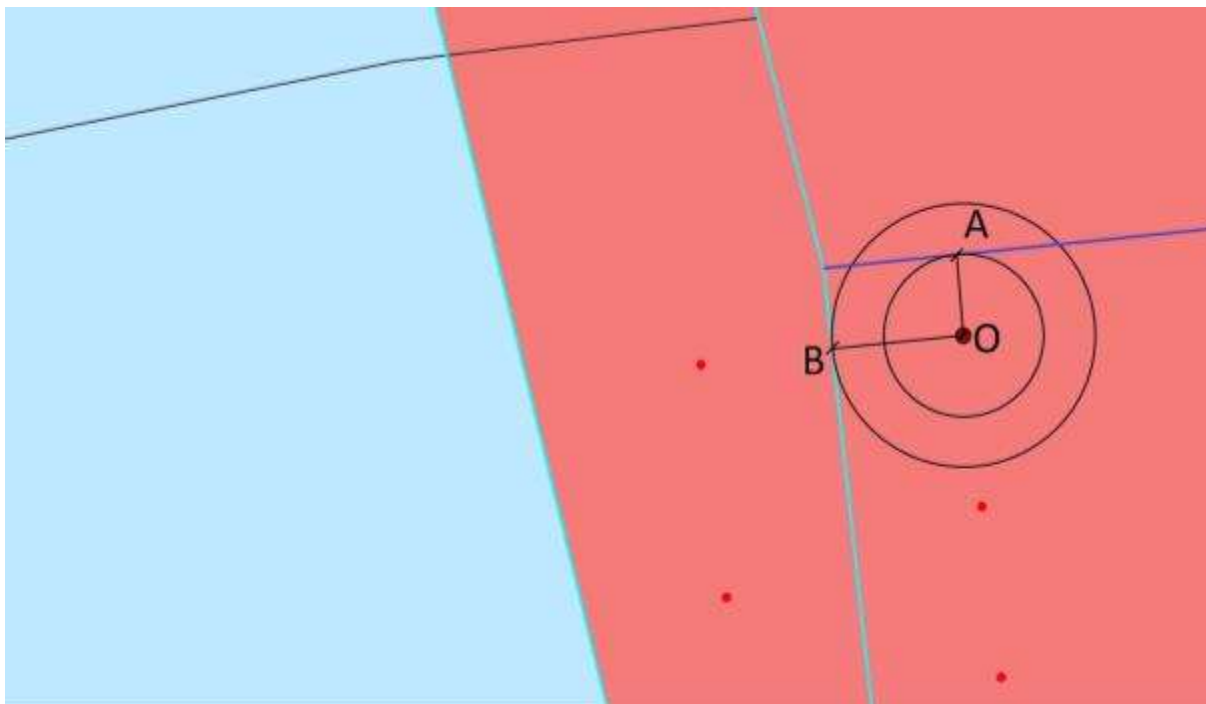


5-13. ábra: A társasházak területeken elhelyezett szigetek megjelenítése

A modell harmadik fázisát megvalósító eljárások ModelBuilder – szimbolikáját és python kódját az 1. Melléklet ábrái tartalmazzák.

5.9 Járattervezés (4. fázis)

A rendszertervező modell eddig bemutatott fázisai előállítják mindazon adatokat, amelyek a családi házakat, valamint a gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok tervezéséhez szükségesek. Ezek az adatok alapvetően a kiszolgálási igények mennyiségéről és a kiszolgálási helyekről nyújtanak információkat a járattervező algoritmus számára. A kiszolgálási igényeket családi házak esetén az egyes háztartások gyűjtőedény- térfogatainak 30%-a jellemzi, illetve gyűjtőszigetek esetén azok gyűjtőtérfogata. A kiszolgálási helyek meghatározása a modell ezen fázisának első feladata. Ez azt jelenti, hogy minden családi ház - és gyűjtősziget esetén meg kell határozni az úthálózat azon pontjait, ahonnan a kiszolgálás megtörténik. Családi házak esetén ezt a közszolgáltató nyilvántartásában szereplő cím határozza meg, a gyűjtőszigetek esetében pedig a sziget elhelyezkedéséhez legközelebb eső útszakasz és az arra a szigetet reprezentáló pontból állított merőleges metszéspontját definiálom kiszolgálási helyként.



5-14. ábra: Példa a szigetek kiszolgálási pontjainak meghatározására az úthálózaton

Az 5-14. ábra O pontjában elhelyezkedő gyűjtősziget kiszolgálására az ábrán sötétkék vonallal jelölt útszakaszon lévő A pontot jelöli ki a rendszertervező modell algoritmus, mert az $\overline{OA}$ hossza rövidebb, mint az $\overline{OB}$ szakasz hossza.

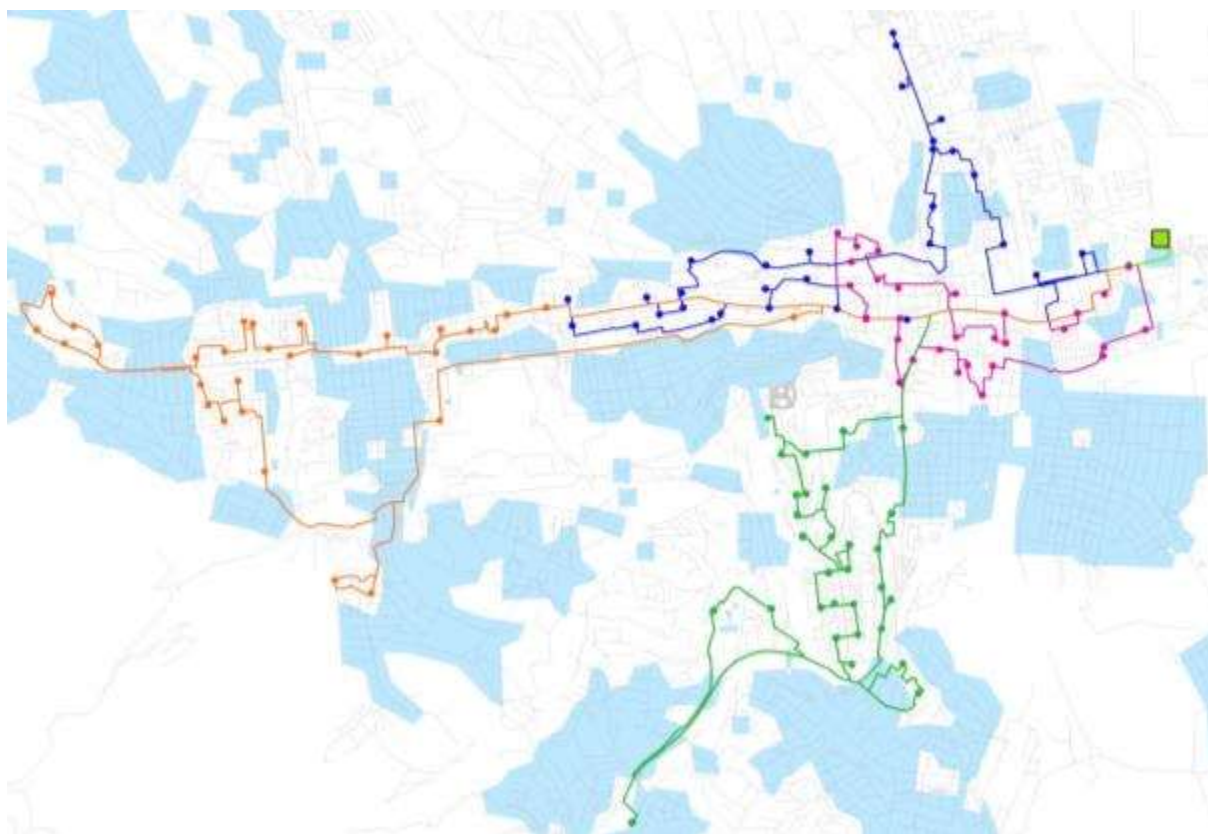
A gyűjtőjáratok tervezéséhez ezt követően a térinformatikai szoftverkörnyezet által biztosított heurisztikus algoritmust vettem igénybe. A családi házak és a gyűjtőszigetek kiszolgálására külön- külön járatokat terveztem, és az alábbi közös paramétereket használtam:

- A gyűjtőszigetek méretének meghatározása során a kommunális hulladékot gyűjtő edények kapacitását vettem figyelembe, amelyek egy hetes ürítési időintervallummal jellemezhetőek. Így a hetente közlekedő, a szigetekről szelektív hulladékot gyűjtő járatokkal szemben támasztott kiszolgálási igényeknek meghatározása során az 5-1. táblázattal megadott gyűjtőedény térfogat – hányadokat használtam.
- A házhoz rendelt gyűjtőjáratok szintén hetente közlekednek, és minden háztartástól az ott elhelyezett kommunális gyűjtőedény térfogatának 30% - át kitevő hulladékmennyiséget szállítanak el.
- Minden gyűjtőjárat a hulladékkezelő centrumból indul, sorra felkeresi a hozzárendelt gyűjtőedényeket mindaddig, míg a gyűjtőtartálya meg nem telik. Ekkor visszatér a központba, kiüríti tartályát, a gyűjtést onnan folytatja, ahol abbahagyta. Ha minden hozzárendelt kiszolgálási pontot felkeresett, szintén visszatér a központba. A járművek mindegyike 200 m^3 – nyi hulladék szállítására alkalmas gyűjtőtartállyal rendelkezik (a tömörítési képességüket is figyelembe véve). A hulladék sűrűsége és

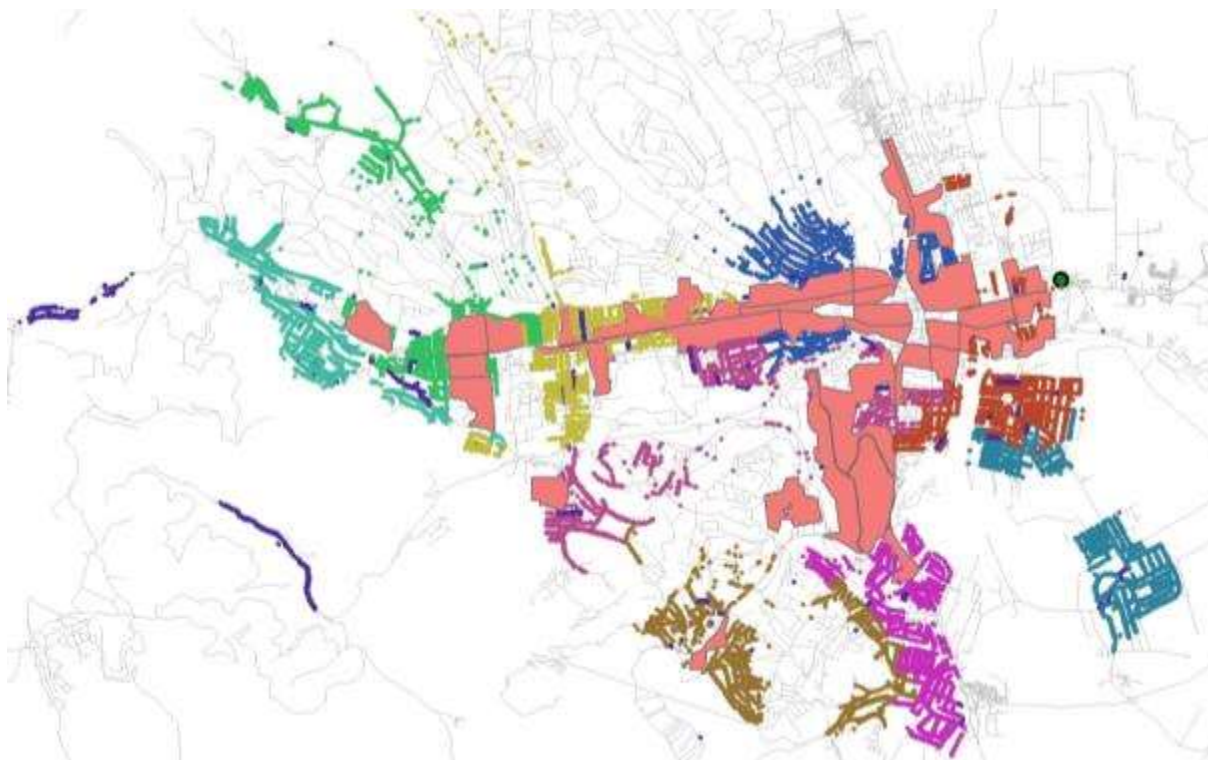
fajsúlya miatt a gyűjtőjármű térfogategységgel kifejezett kapacitását tekintettem korlátozó tényezőnek, nem a járművek teherbírását.

- A gyűjtés időtényezőit nem vettem figyelembe, a járattervek készítése során a gyűjtési úthossz minimalizálását tekintettem célfüggvénynek.

Az 5-15. ábra és az 5-16. ábra mutatja az aktuális ($k=175$) küszöbérték által meghatározott területi felosztás esetén a gyűjtőszigetek és a családi házas övezetek kiszolgálását végző járatokat. Az egyes járatok által kiszolgált gyűjtőedényeket és a járatok útvonalát azonos színnel tüntettem fel az ábrákon.



5-15. ábra: A társasházak övezetekben elhelyezett gyűjtőszigeteket ürítő gyűjtőjáratok megjelenítése



5-16. ábra: A családi házas övezetek gyűjtőedényeit ürítő járatok megjelenítése

Az elkészített járatok jellemzői közül a gyűjtési hatékonyság szempontjából a (3.30) összefüggésnek megfelelően az egyes járat típusok által gyűjtött mennyiségek és a gyűjtési távolságok képezik az eredményeket. Az aktuális küszöbérték figyelembe vételével ezeket a jellemzőket az 5-6. táblázatban foglaltam össze:

5-6. táblázat: A járattervezés eredményei az aktuális küszöbértéknek ($k=175$) megfelelően

jellemzők	társasházak területek	családi házas területek
gyűjtési úthossz [km]	165,44	645,1
gyűjtött mennyiség [m^3]	882	583
$KPI_{1,2}$ [m^3/km]	5,33	0,9

A 5-6. táblázat értékei szerint a társasházak gyűjtőjáratai több mint ötszörös gyűjtött mennyiség/gyűjtési úthossz mutatóval jellemezhetők ezen területi felosztás esetén a családi házas területeket kiszolgáló gyűjtőjárathoz képest. A modell negyedik fázisát megvalósító eljárások ModelBuilder – szimbolikáját és python kódját az 1. Melléklet ábrái tartalmazzák.

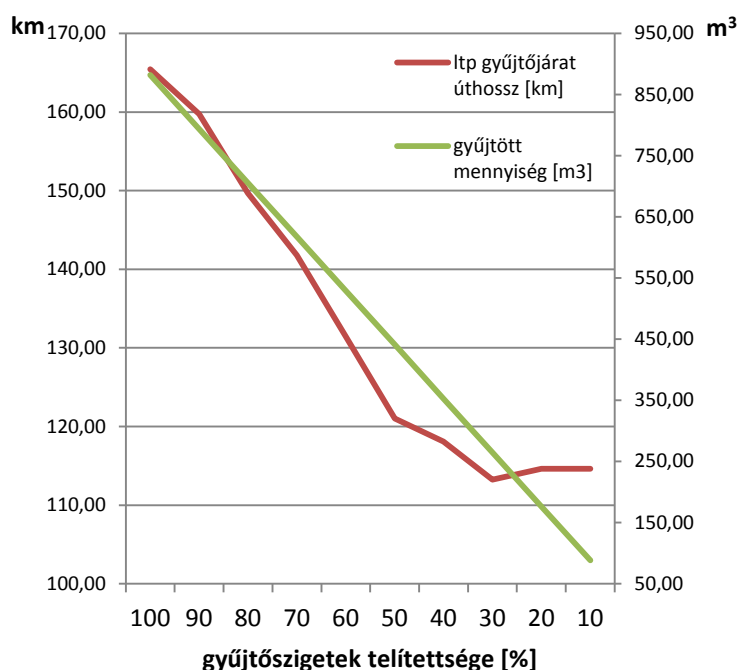
5.10 Az igények változásának hatása a gyűjtőjáratok hatékonyságmutatóira

A járatokhoz rendelt igényeket a gyűjtőedény – térfogatokból származtattam, érzékenységvizsgálatot végeztem ezek változásának a járattervezés eredményeire gyakorolt

hatására vonatkozóan. Az igények az eddigieknek megfelelően két csoportba sorolhatók: a családi házas területeken élő háztartásokéra, illetve a gyűjtőszigetekhez rendelt háztartásokéra. A két csoport közül a [21] által definiált negatív hatás utóbbiak esetében eredményez nagyobb bizonytalanságot a tervezett rendszer igénybevételét illetően, ezért az érzékenységvizsgálatot a szigetek kiszolgálását végző járatok esetében részletesebben végeztem el, mint a házhoz rendelt járatok esetében.

5-7. táblázat: A járattervezés eredményének változása a gyűjtőszigetek telítettségének függvényében

gyűjtősziget telítettség [%]	gyűjtőjárat úthossz [km]	gyűjtött mennyiség [m ³]
100	165,44	882,00
90	159,76	793,80
80	149,67	705,60
70	141,79	617,40
60	131,43	529,20
50	121,04	441,00
40	118,08	352,80
30	113,26	264,60
20	114,64	176,40
10	114,64	88,20
átlag	19,88	267,04
szórás	132,97	485,10
relatív szórás	0,15	0,55
terjedelem	52,18	793,80

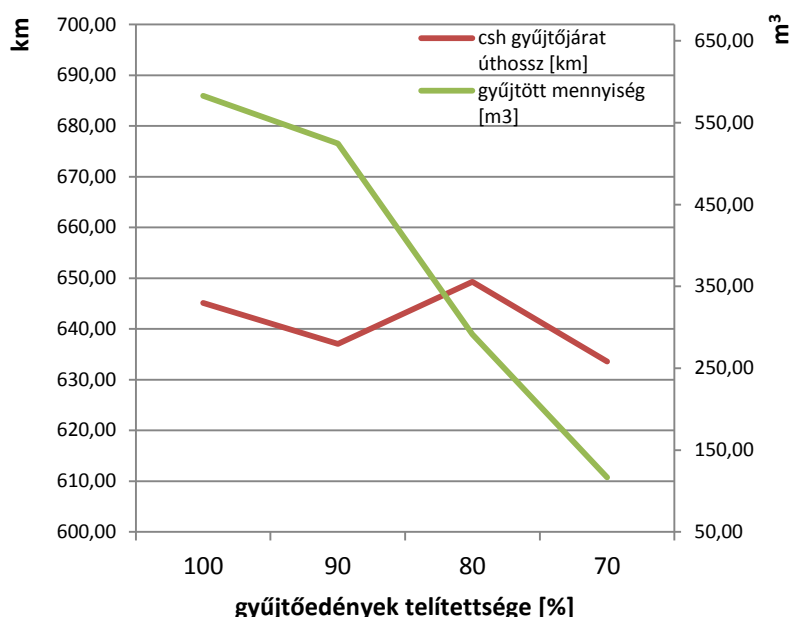


Az első csoportra vonatkozó érzékenységvizsgálat során a gyűjtőszigetek igényét a járattervezés kiindulási paramétereként 10%-100% –ig változtattam. A járattervezési algoritmus egyéb paramétereit változatlanul hagyva elvégeztem a vizsgálatokat, az eredményeket az 5-7. táblázatba foglaltam. Az eredményekből látszik, hogy a járatok úthossza kb. 52 km –t ingadozik a gyűjtött mennyiség mintegy 794 m³ –es változása mellett.

A családi házas területek kiszolgálására hivatott járatokkal szemben támasztott igényeknek az eredeti (a hulladékgyűjtő edények térfogatának 30%- ának megfelelő) értékek 90%- ra, 50%- ra és 20%- ra való csökkentése mellett végeztem el a járattervezési vizsgálatokat. Ezen érzékenységvizsgálat eredményül az 5-8. táblázatba foglalt értékeket kaptam.

5-8. táblázat: A járattervezés eredményének változása a gyűjtőedények telítettségének függvényében

gyűjtőedény telítettség [%]	gyűjtőjárat úthossz [km]	gyűjtött mennyiség [m ³]
100	645,10	583,00
90	637,08	524,70
80		
70		
60		
50	649,30	291,50
40		
30		
20	633,56	116,60
10	633,56	58,30
átlag	7,21	235,38
szórás	639,72	314,82
relatív szórás	0,01	0,75
terjedelem	11,54	524,70



A vizsgálat eredményei szerint a házhoz menő gyűjtést végző járatok úthossza mindössze kb. 11 km –t ingadozik, míg a gyűjtött mennyiség 524 m³ –t változik. A kétféle járattípus érzékenységiét összevetve [21] megfigyelésével összecsengő megállapításra jutottam; a gyűjtőszigetek ürítését végző járatok gyűjtési úthosszára a szállítási igények ingadozása ($k=175$ – as küszöbérték esetén) mintegy háromszor ($52/794:11/524$) nagyobb hatással van, mint a házhoz menő járatok úthosszára.

Ez egyúttal azt is jelenti, hogy a szigetek telítődését monitorozó [25] és [26] által leírt technikai háttérrel a gyűjtőjáratok kihasználtsága (és hatékonysága) tovább növelhető. Ezen indok miatt a telítettségre vonatkozó információkat szolgáltató telemetria integrálását jelölöm meg a gyűjtőrendszer tervezését elvégző modell első továbbfejlesztési lehetőségeként.

5.11 Az optimális hulladékgyűjtő rendszer meghatározása iterációval

A modell működésének négy fázisa segítségével elvégzem a hulladékgyűjtő rendszer tervezését. Az alapadatok térinformatikai adatbázisba szervezésétől a szolgáltatási terület lakóépület- típusok szerinti felosztásán át a gyűjtőjáratok minimális úthosszának, valamint a gyűjtött hulladékmennyiségeknek, és a kiszolgálási pontok sorrendjének a meghatározásáig. A modell egy futtatása ezen vizsgálatokat a területfelosztást meghatározó egy küszöbértéket

felhasználva végzi. Az eddig bemutatott eredmények a küszöbérték 175 –ös értéke mellett készültek.

A célom olyan gyűjtőrendszert tervező modell kidolgozása, mely a gyűjtési hatékonyságot a járatok teljesítménytényezőinek növelésével a kiszolgálási terület térbeli sajátosságait kihasználva maximalizálja. A korábbi szakaszokban megmutattam, hogy a járatok teljesítménytényezői és a küszöbérték egymással szoros kapcsolatban állnak. A modell iterációs lépéseinek lényege a küszöbérték változtatásának a teljesítménytényezők értékeire gyakorolt hatásának vizsgálata, olyan küszöbérték meghatározása, amelynél a teljesítménytényezők értékének összege a lehető legnagyobb. Az így nyert eredmény nem a küszöbérték maga, hanem az ahhoz tartozó területi felosztás. A modell felépítéséből fakadóan ezt a területi felosztást-, illetve az ehhez tartozó járatokat definiálom az adott szolgáltatási terület esetén alkalmazható leghatékonyabbaknak.

Az iterációnál alkalmazott küszöbérték egy adott környezetben található hulladékgyűjtő edények térfogatainak átlagára vonatkozik. Az edények térfogata az 5-1. táblázat szerint 1100 és 60 liter között változik. Az 5-8. ábra megjelenített szolgáltatási terület raster cellái a modellnek az edények környezetére vonatkozó beállításaival minimum 100- as, maximum 900 –as értékeket tartalmaznak. Az iteráció során vizsgált küszöbértékeket ezen határokon belül változtatom. Az iterációt megvalósító algoritmus programozása során az egyes iterációs lépések alapjául szolgáló küszöbértékeket a [48] által bemutatott fokozatos közelítés, vagy intervallumfelező eljárás (successive approximation) elvét felhasználva határoztam meg.

Az algoritmus leállási feltétel meghatározásához az egymást követő iterációs lépések során kapott teljesítménytényező- összegek közötti különbségeket használtam fel:

$$\begin{aligned} &\text{ha } |\Delta KPI| > 0,2 \text{ az iteráció folytatódik} \\ &\text{ha } |\Delta KPI| < 0,2 \text{ az iteráció leáll} \end{aligned} \tag{5.26}$$

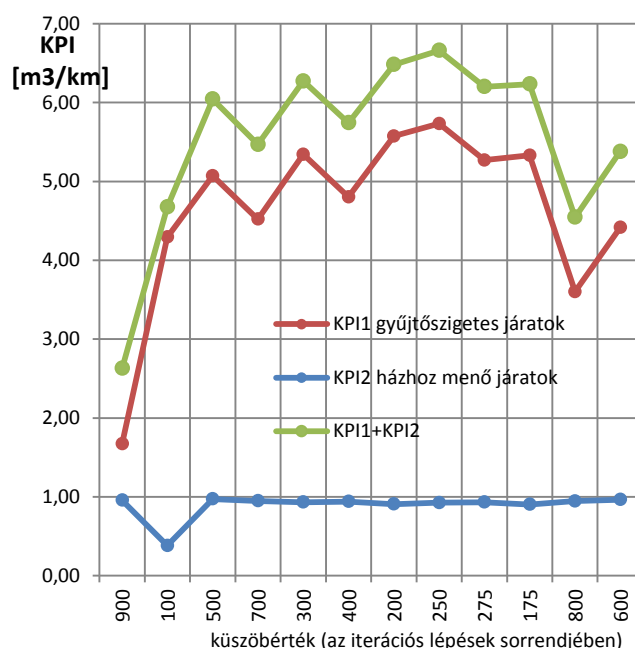
A leállási feltétel meghatározása során egy iteráció végrehajtásához szükséges idő nagyságát is célszerű figyelembe venni. A házhoz rendelt járatok által kiszolgálandó háztartások száma a szemléltetéshez használt modellterület esetén a küszöbértéktől függően tízezres nagyságrendű, ezért a modell negyedik lépcsőjének végrehajtásához igénybe vett heurisztika futási ideje hosszú.

Az iteráció során a [48]- nak megfelelően az intervallumfelezés módszerével állapítom meg a következő iterációs lépés során alkalmazott küszöbértéket, a kiinduláshoz pedig a felső és az alsó határértékeket (900, 100) alkalmazom. Az 5-9. táblázatban felülről lefelé haladva láthatók a küszöbérték egymást követő iterációs lépésközei, az ezek alkalmazásával a

modellben meghatározott teljesítménytényező- értékek, valamint ezek különbségei. A táblázat megjelölt sorai mutatják az algoritmus által egymás után meghatározott magasabb $KPI_1 + KPI_2$ – összeget képviselő területi felosztásokat. A leállási feltétel $k = 250$ –érték esetén teljesül, tehát az ehhez tartozó területi felosztás szerinti járatokat tekintem a szolgáltatási területeket optimálisan kiszolgáló járatoknak.

5-9. táblázat: Az iterációs folyamat során képzett küszöbértékek változásának hatása az ezekkel jellemezhető hulladékgyűjtő – rendszer változatok járatainak teljesítménytényezőire

küszöb- érték (k)	KPI_1 gyűjtő- szigetes járatok	KPI_2 házhöz rendelt járatok	összes gyűjtött hulladék- mennyiség [m ³]	KPI_1 + KPI_2	iterációs különbség (ΔKPI)
900	1,67	0,95	800,39	2,63	-
100	4,29	0,38	1 562,70	4,67	2,05
500	5,07	0,97	1 196,34	6,04	1,37
700	4,52	0,95	998,01	5,47	-0,58
300	5,34	0,93	1 319,55	6,27	0,23
400	4,80	0,94	1 241,77	5,74	-0,53
200	5,57	0,91	1 445,12	6,48	0,21
250	5,73	0,93	1 418,88	6,66	0,18
275	5,27	0,93	1 288,81	6,20	-0,46
175	5,33	0,90	1 464,83	6,23	-0,43
800	3,60	0,94	878,45	4,55	-2,11
600	4,41	0,96	1 117,80	5,38	-1,28



Az 5-9. táblázat és ábra további sorai az intervallumfelező eljárás által meghatározott további iterációs lépések eredményeit tartalmazzák. Ezeket a lépéseket a kapott eredmény lokális szélsőérték- mivoltáról való információszerzés érdekében végeztem el. Látható, hogy ezek mind a $k=250$ - esetén tapasztalható összegzett teljesítménytényező (6,66) alatti értékekkel jellemezhető megoldásokat szolgáltatottak.

Az egyes iterációs lépéseknek megfelelő gyűjtőrendszer- változatok társasházak övezeteit kiszolgáló járatainak jellemző értékeit mutatja az Az egyre kisebb küszöbértékek a társasházak területének növekedését jelentik (ennek szemléltetésére szolgál a 2. Melléklet). Ezzel párhuzamosan mind a gyűjtőszigetéről gyűjtött hulladékmennyiség, mind a gyűjtési úthossz is növekszik. A kisebb küszöbértékek eléréséig a gyűjtött mennyiség az úthossznál gyorsabban nő, tehát a hányadosuk is a kívánt irányban változik. A $k = 250$ - es érték elérése után azonban a gyűjtött mennyiséget szimbolizáló diagramszakaszok meredeksége kisebb lesz a gyűjtési úthossz ugyanilyen értékéhez képest. Ennek oka az, hogy egyre több, családi házakat tartalmazó területet sorolunk be a társasházak övezetek közé, így ezek

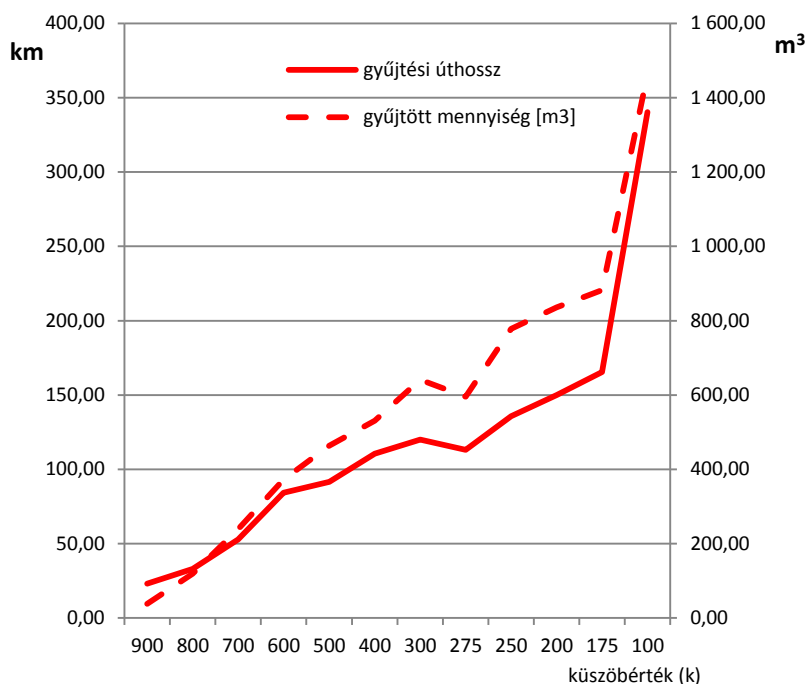
kiszolgálására egyre több – és területileg egymástól egyre messzebbre eső – gyűjtőszigetet helyez el a modell a szolgáltatási területen. Emiatt a gyűjtőjáratok által megtett út az általuk gyűjtött hulladékmennyiségtől gyorsabban nő, a járatok teljesítménytényezője pedig romlik.

Az egyre kisebb küszöbértékek a társasházak területének növekedését jelentik (ennek szemléltetésére szolgál a 2. Melléklet). Ezzel párhuzamosan mind a gyűjtőszigetekről gyűjtött hulladékmennyiség, mind a gyűjtési úthossz is növekszik. A kisebb küszöbértékek eléréséig a gyűjtött mennyiség az úthossznál gyorsabban nő, tehát a hányadosuk is a kívánt irányban változik.

A $k=250$ -es érték elérése után azonban a gyűjtött mennyiséget szimbolizáló diagramszakaszok meredeksége kisebb lesz a gyűjtési úthossz ugyanilyen értékéhez képest. Ennek oka az, hogy egyre több, családi házakat tartalmazó területet sorolunk be a társasházak övezetek közé, így ezek kiszolgálására egyre több – és területileg egymástól egyre messzebbre eső – gyűjtőszigetet helyez el a modell a szolgáltatási területen. Emiatt a gyűjtőjáratok által megtett út az általuk gyűjtött hulladékmennyiségtől gyorsabban nő, a járatok teljesítménytényezője pedig romlik.

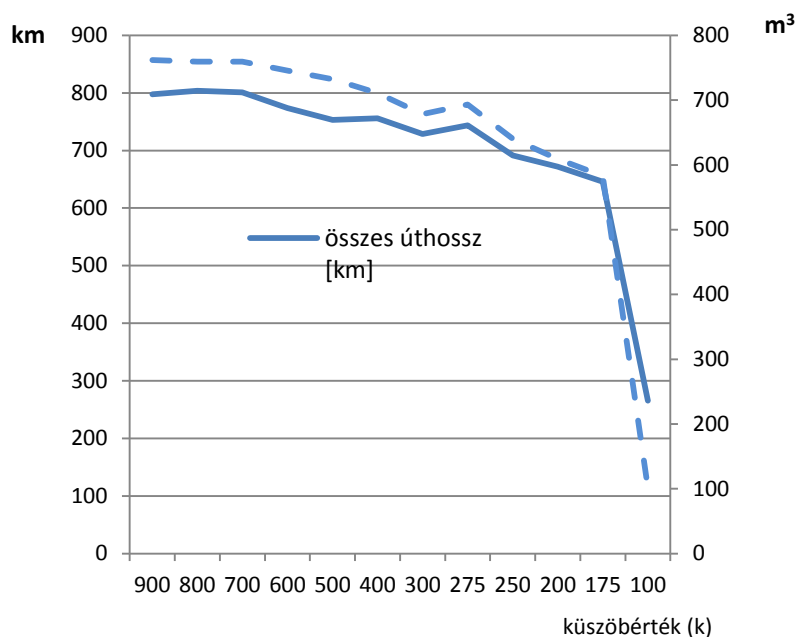
5-10. táblázat: A gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok összesített úthosszainak változása az iterációs küszöbérték függvényében megjelenítve

küszöbérték (k)	gyűjtőszigetes gyűjtést végző járatok		
	összes úthossz [km]	gyűjtött mennyiség [m ³]	KPI ₁
900	23,10	38,65	1,67
800	33,06	119,03	3,60
700	52,79	238,58	4,52
600	84,36	372,39	4,41
500	91,53	464,12	5,07
400	110,51	530,68	4,80
300	120,00	641,28	5,34
275	113,05	595,70	5,27
250	135,77	778,39	5,73
200	149,96	835,89	5,57
175	165,44	882,02	5,33
100	340,43	1 461,66	4,29



5-11. táblázat: A házhoz menő gyűjtés úthosszainak változása a k küszöbérték függvényében megjelenítve

küszöbérték (k)	házhoz menő gyűjtést végző járatok		
	összes úthossz [km]	gyűjtött mennyiség [m ³]	KPI ₂
900	797,89	761,74	0,95
800	803,82	759,42	0,94
700	801,11	759,42	0,95
600	773,47	745,41	0,96
500	753,29	732,22	0,97
400	756,14	711,09	0,94
300	728,70	678,27	0,93
275	743,71	693,11	0,93
250	691,70	640,49	0,93
200	672,03	609,23	0,91
175	645,81	582,81	0,90
100	265,34	101,04	0,38

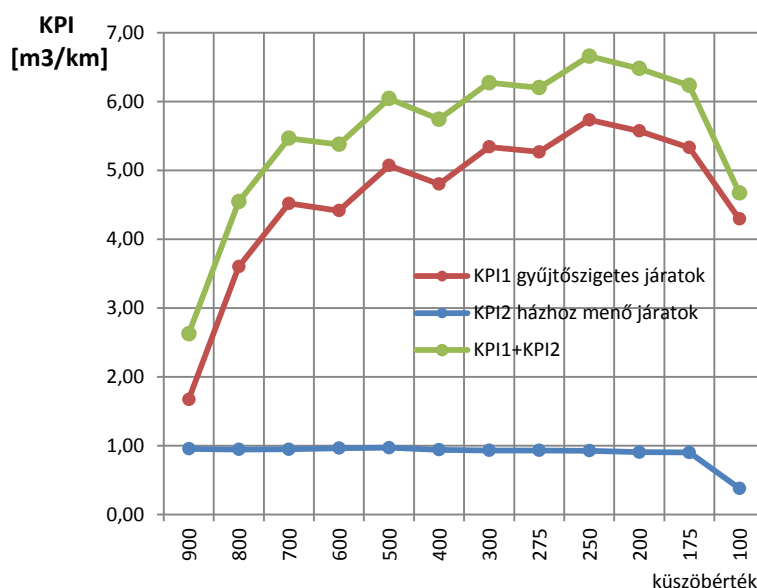


A házhoz rendelt járatok szolgáltatási területe a küszöbértékkel párhuzamosan csökken. Megállapítható, hogy mindeközben a járat – úthosszak és a gyűjtött mennyiségek egymással arányosak maradnak, így a járatok teljesítménytényezője szinte változatlan marad. A kisebb küszöbértékek tartományában azonban hirtelen csökkenés mutatkozik ezen utóbbi jellemző értékében.

A csökkenés oka a magasabb küszöbértékek esetén nagyjából összefüggő területet alkotó családi házas terület szegmensek szétforgácsolódására vezethető vissza (ennek szemléltetésére szolgál a 2. Melléklet). Az egymástól távoli területszegmensek közötti szállítás során a gyűjtőjárművek rakománya nem gyarapodik, így az ilyen körülmények közt szolgáltató járatok teljesítménytényezői kisebbek lesznek.

5-12. táblázat: A modellel tervezett gyűjtőrendszer járatai teljesítménymutatóinak alakulása a k küszöbérték változtatásával

küszöbérték (k)	KPI ₁ gyűjtő- szigetes járatok	KPI ₂ házhoz menő járatok	KPI ₁ + KPI ₂
900	1,67	0,95	2,63
800	3,60	0,94	4,55
700	4,52	0,95	5,47
600	4,41	0,96	5,38
500	5,07	0,97	6,04
400	4,80	0,94	5,74
300	5,34	0,93	6,27
275	5,27	0,93	6,20
250	5,73	0,93	6,66
200	5,57	0,91	6,48
175	5,33	0,90	6,23
100	4,29	0,38	4,67



Az 5-12. táblázat és ábra mutatja a gyűjtőrendszer- változatok gyűjtőjáratainak teljesítménytényezőit a küszöbértékek csökkenésének sorrendjében. Látható, hogy a területi jellemzők szerint megkülönböztetett szegmenstípusok (társasházias területek, illetve családi házas övezetek) bármelyikének minősített túlsúlya egyaránt alacsony összegzett teljesítménytényező értéket eredményez. Emellett, mivel a gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok az 5-12. táblázat 2. oszlopát tekintve átlagosan hatékonyabbak, ezért azok térnyerése a gyűjtőrendszer hatékonyságának növekedését okozza. A modell iterációja során meghatározott, optimálisnak tekintett megoldás ($k=250$) a vizsgálati intervallum alacsonyabb küszöbértékkel jellemezhető határához közelebb helyezkedik el.

Az adatok alapján a modell által szolgáltatott eredményeket a gyakorlati megfontolásokból adódó következtetésekkel összhangban lévőnek ítélem. A modellezés során felhasznált területi információkat a gyűjtőrendszer megfelelő kialakításához szükségesnek tartom. Megállapítottam, hogy az eddigiekben részletezett modell megalkotásával elértem a kitűzött célt, mert a meghatározott peremfeltételek mellett sikerült optimálisnak tekinthető gyűjtőrendszert, és az ezt működtető gyűjtőjáratakat definiálni.

5.12 Továbbfejlesztési lehetőségek

A kidolgozott tervezési eljárással kapcsolatos továbbfejlesztések fő irányai:

- az egyes tervezési fázisokban alkalmazott algoritmusok hatékonyságának növelése, vagy új, az eredményeket gyorsabban produkáló heurisztikák keresése,

- a tervezési fázisokat átívelő iterációs eljárás gyorsítási lehetőségeinek feltárása,
- a gyűjtőedények aktuális telítettségét figyelembe vevő gyűjtőjáratok tervezési lehetőségének megteremtése, ennek érdekében telemetriai eszközök felhasználásából származó információknak a kidolgozott eljárásba való integrálása.

Mindezek mellett az optimális gyűjtőrendszert iterációs lépésekkel létrehozó modell a küszöbérték változtatása révén kereste a szolgáltatási terület ideális felosztását. Az 5.5 fejezetben bemutatott általános elvek alkalmazására az általam kidolgozott eljárások esetén is szükséges lehet, hiszen a modellezés során számos paraméterezési lehetőség kínálkozik. Az 5-13. táblázat azokat a paraméterezési lehetőségeket vázolja fel, melyek a modell egyes fázisaiban használt értékek változtatására vonatkoznak, és amelyek segítségével adott esetben újszerű optimálási feladatok fogalmazhatók meg.

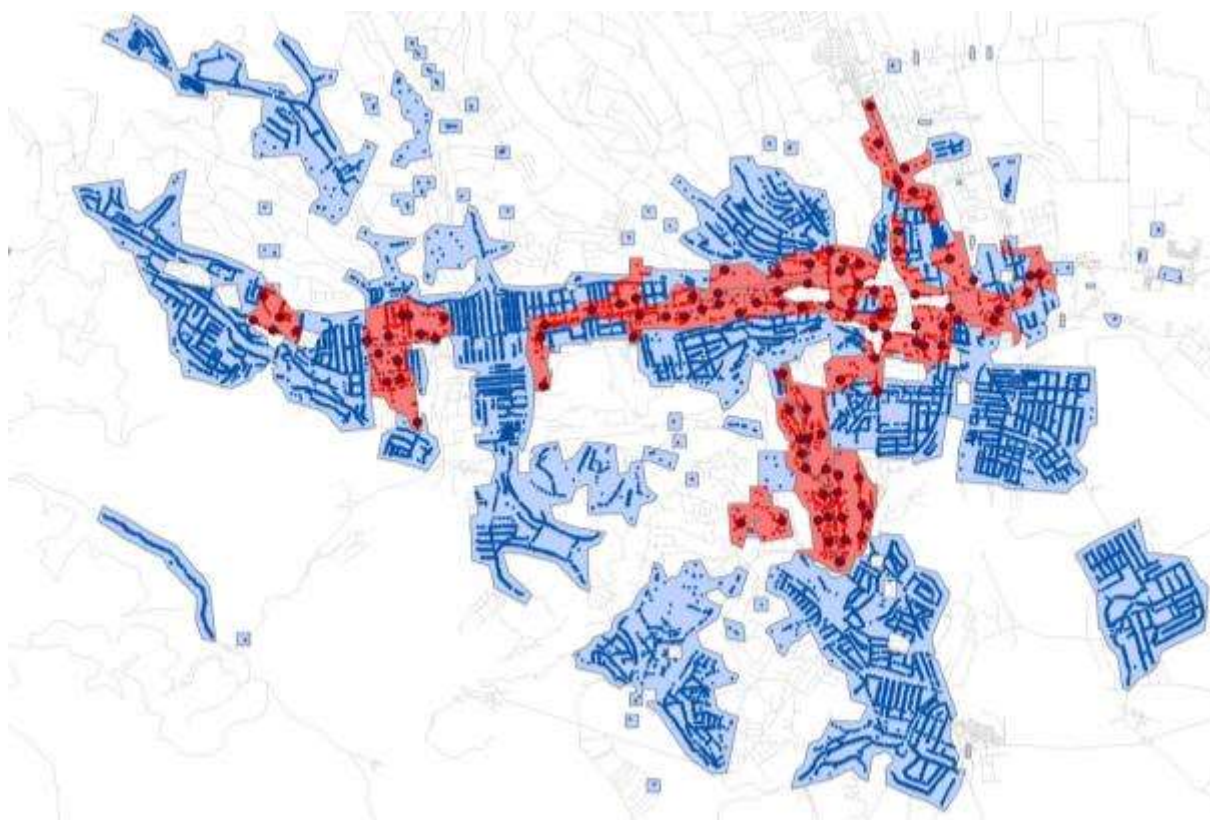
5-13. táblázat: A rendszertervezési eljárás során alkalmazott optimálás dimenzióit meghatározó paraméterek, a modell fázisi szerint csoportosítva

tevékenység		paraméterek – vizsgálati lehetőségek
1. alapadatok előállítása	1.1 az úthálózatra vonatkozóan	OD mátrix változtatásának hatása pl. új utak hatásának elemzése
	1.2 a háztartásokra vonatkozóan	az üritési időpontok közti időintervallumban keletkező hulladékmennyiség (telemetria felhasználása)
	1.3 a térképen a háztartásokat reprezentáló diszkrét pontok területté (raszterre) alakítása interpoláció révén, majd a raszter szegmentálása csh.- ltp. szerint	az interpoláció módszere, paraméterei (a figyelembe vett környezet alakja és mérete, valamint a környezetben található értékek figyelembevételi lehetőségei átlag, minimum, maximum stb.)
2. területi elkülönítés	2.1 a társasházass szegmensekben elhelyezendő hulladékgyűjtő szigetek számának meghatározása az ottani háztartásokban (társas és családi házak!) keletkező hulladékmennyiség és (esetleg nem lineáris) impedanciával meghatározott ráhordási távolság felhasználásával	az impedancia függvény jellegének változtatása (lineáris, hatvány, exponenciális, stb.)
	2.2 a szegmensek területegységekre való felosztása az úthálózat magasabb rendű elemeit, mint a gyűjtés természetes korlátait felhasználva. A kisméretű területegységek elhanyagolása (annak feltételezése, hogy az ottani háztartások a hozzájuk legközelebb eső más területegységek gyűjtőpontjait használják)	a felosztáshoz használt utak (úttípusok pl. autópálya, főút, többsávos utak) kiválasztása és az elhanyagolni kívánt területegységek méretének változtatása
	2.3 a szegmensek kialakítása a küszöbérték felhasználásával ltp-csh területi elkülönítése	a küszöbérték megválasztásának hatása a ltp - csh arányra
3. gyűjtőpont- kijelölés	3.1 a ltp területek gyűjtőpont-térképének létrehozása	a szegmensek gyűjtőpontjainak különböző elhelyezési stratégiák igénybevételével történő megállapítása
4. járattervezés	4.1 a járattervek elkészítése	más (pl. idő, vagy komplex-) célfüggvények alkalmazása

5.13 A modell eredményeinek összevetése a hulladékgyűjtési gyakorlat tapasztalataival

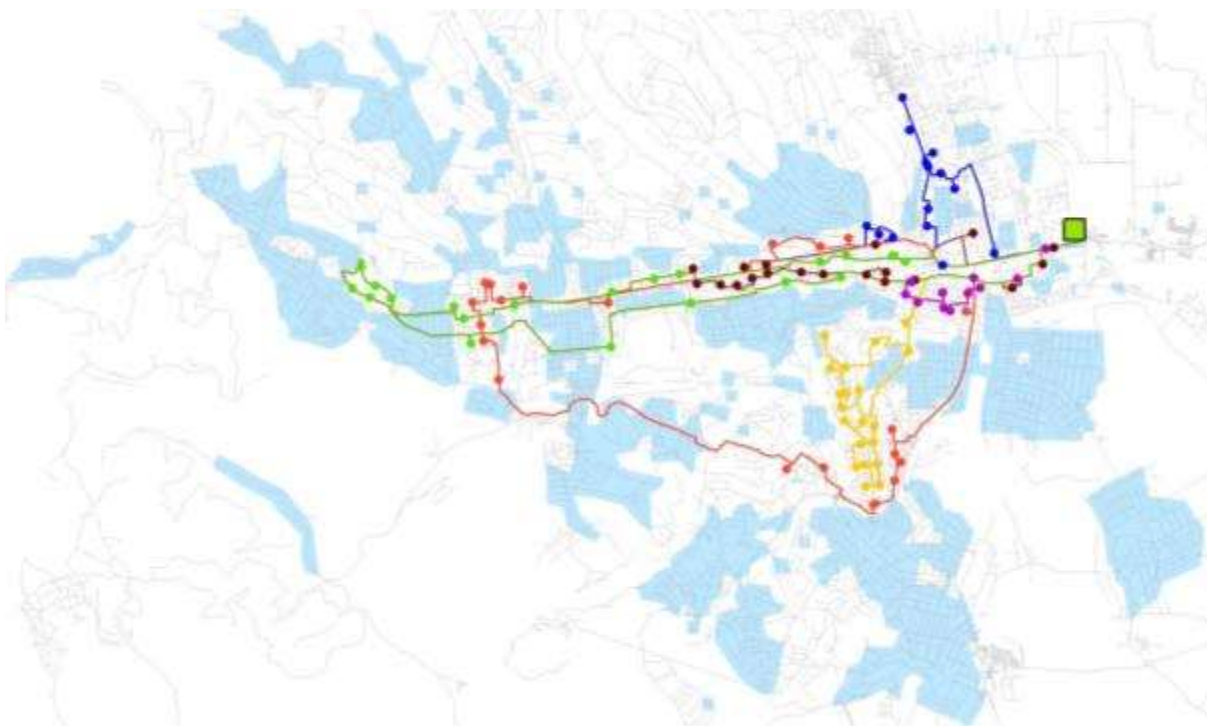
5.13.1 A modellben létrehozott gyűjtőrendszer jellemzése

Az iterációs eljárás a $k = 250$ érték esetén kapott területi felosztáshoz tartozó járatokat határozta meg a legnagyobb hatékonyságúként az adott szolgáltatási területen létesített hulladékgyűjtő rendszer működtetéséhez. Az alábbiakban ezen gyűjtőrendszer jellemzőivel hasonlítom össze a szolgáltatási területen jelenleg működő szelektív gyűjtési gyakorlatra vonatkozó adatokat.

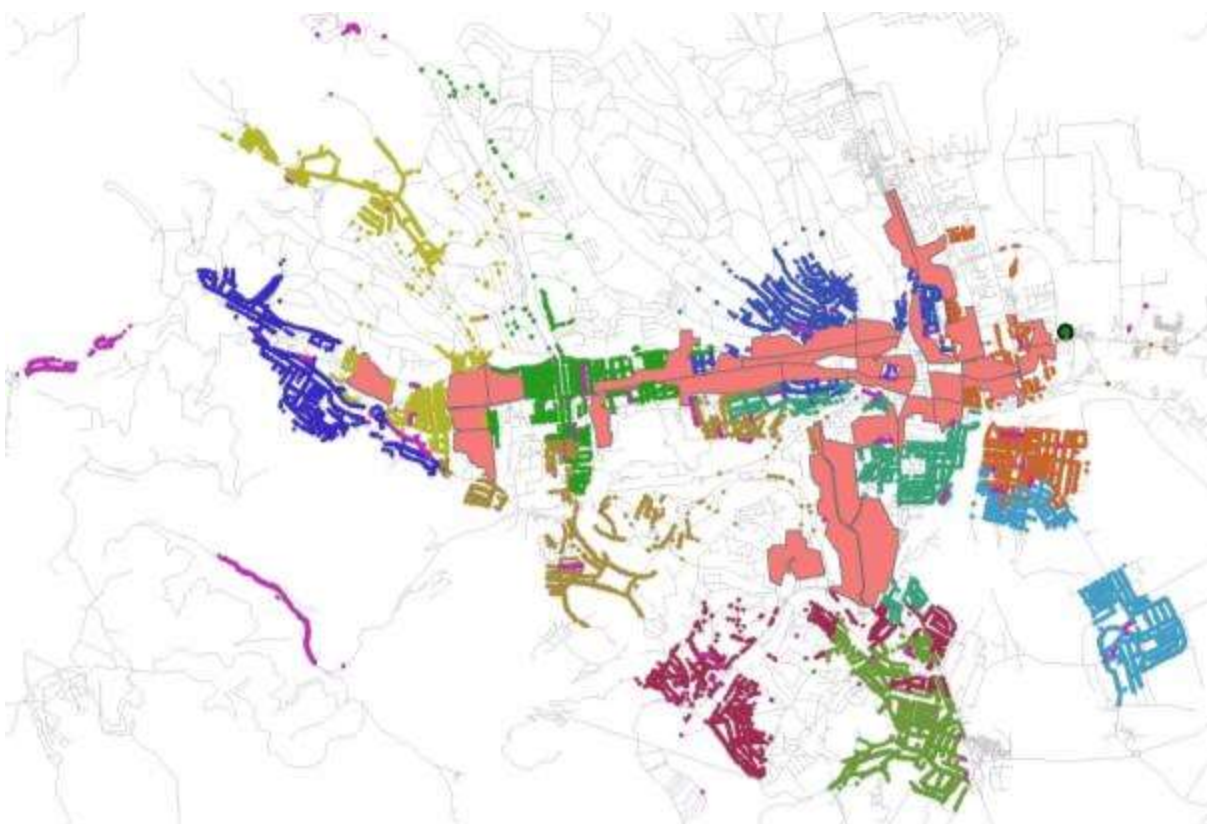


5-17. ábra: A 250 –es küszöbértéknél kapott területi felosztás a háztartások és a gyűjtőszigetek megjelenítésével

Az 5-17. ábra pirossal a társasházi területeket, késsel pedig a családi házas területeket jeleníti meg. A piros területeken a nagyobb bordó pöttyök mutatják a gyűjtőszigetek modellben kijelölt helyét. A kék területeken a sötétkék pontok a családi házakat szimbolizálják.



5-18. ábra: A gyűjtőszigeteket kiszolgáló gyűjtőjáratok útvonalai a 250 –es küszöbértékhez tartozó területi felosztás esetén



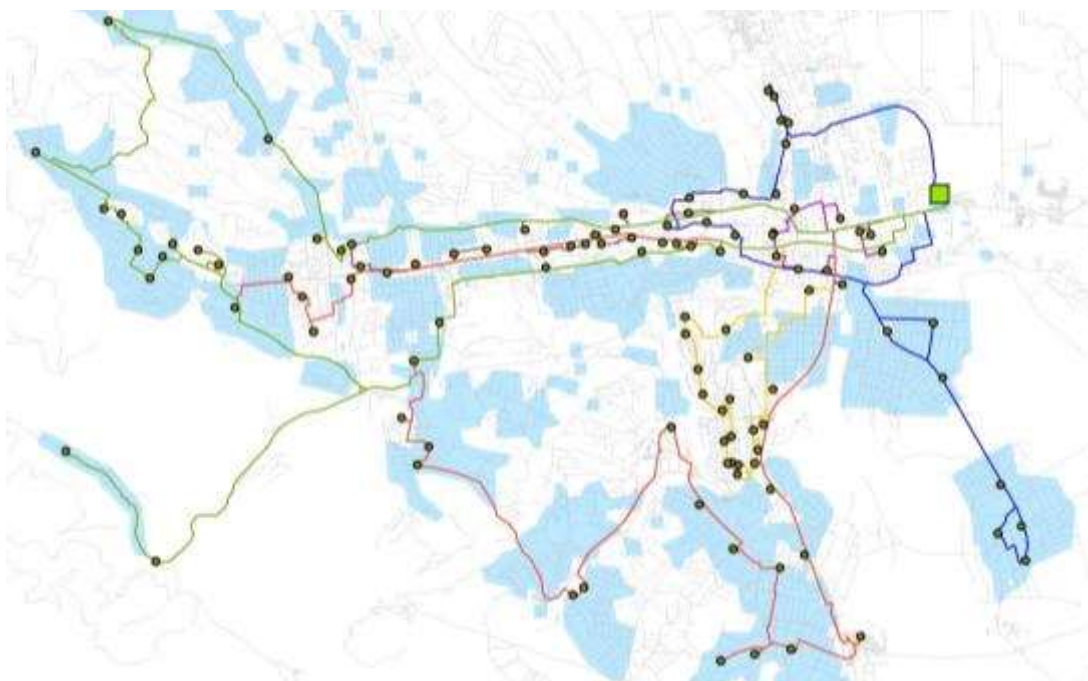
5-19. ábra: A házhoz rendelt gyűjtőjáratok útvonalai a 250 –es küszöbértékhez tartozó területi felosztás esetén

5-14. táblázat: Az optimálisnak tekintett gyűjtőrendszer – változat jellemzése

Gyűjtőszigetek száma	104
Összes úthossz [km]	135,77
Gyűjtött mennyiség [m ³]	778,39
KPI ₁ gyűjtőszigetes járatok	5,73
Összes úthossz [km]	691,70
Gyűjtött mennyiség [m ³]	640,49
KPI ₂ házhoz menő járatok	0,93
Összes gyűjtött hulladékmennyiség [m ³]	1 418,88
KPI ₁ +KPI ₂	6,66

5.13.2 A gyakorlatban alkalmazott gyűjtőrendszer jellemzése

A szolgáltatási területen működő szelektív hulladékgyűjtő rendszerben jelenleg 109 db gyűjtősziget, és 25183 db családi házas háztartáshoz tartozó gyűjtőedény található.



5-20. ábra: A közszolgáltatás keretében működtetett szelektív gyűjtőrendszer gyűjtőszigeteinek és a modell optimálisnak tekintett területi felosztása során meghatározott társasházak területek egymáshoz viszonyított elhelyezkedése

Az 5-20. ábra mutatja a gyűjtőszigetek valós elhelyezkedését a szolgáltatási területen. Látható, hogy a szigetek kb. egyötöde (20 db.) a gyűjtőrendszer tervező modell által családi házas területnek ítélt területeken helyezkedik el. Ezek esetében az átlagos ráhordási távolságok hosszabbnak becsülhetők a modellel általam meghatározott szigetek esetében tapasztalhatókhöz képest.

Az összehasonlítás során a modell eredményeit egyrészt a hulladékmennyiségek vonatkozásában az adatgyűjtés eredményeivel-, másrészt pedig a gyűjtőjáratok úthosszának vonatkozásában a gyakorlatban alkalmazott útvonalakkal hasonlítom össze.

5-15. táblázat: A közszolgáltatás keretében működtetett szelektív gyűjtőrendszer jellemzése a modell által szolgáltatott adatoknak megfelelően egy hétre vonatkozó átlagos értékeket felhasználva

Gyűjtőszigetek száma	109
Összes gyűjtési úthossz [km]	152,7
Egy hét alatt átlagosan gyűjtött hulladékmennyiség [m ³]	221,115
KPI	1,45

Az 5-14. táblázat negyedik- és hetedik-, valamint az 5-15. táblázat utolsó sorának összevetése igazolja, hogy a gyűjtőrendszer- tervező modellen végrehajtott vizsgálatok révén a gyakorlatban alkalmazott gyűjtési módszertől hatékonyabb megoldás hozható létre az szelektív hulladékok összegyűjtésére. A modellen elvégzett iteratív vizsgálattal igazolható, hogy a társasházak övezetbe javasolt gyűjtőszigetes szelektív hulladékgyűjtést kiszolgáló járatok hatékonysága mintegy négyszerese a jelenlegi hulladékgyűjtési gyakorlat ugyanilyen mutatójának. A hatékonyságnövekedés okai:

- a társasházak terület- szegmensekben elhelyezett gyűjtőszigetek száma (104) a jelenlegi teljes szolgáltatási területen elhelyezett szigetek számától (109) alig kevesebb,
- ezen gyűjtőszigetek a társasházak területek hulladékforrás- pontjaihoz (azaz az egyes háztartásokhoz) a lehető legközelebb kerültek elhelyezésre.

A családi házas övezetekben a házhoz rendelt szelektív gyűjtés bevezetése javasolható. Megjegyzendő, hogy a rendszertervező modellen végzett vizsgálatok során elkészített területfelosztás nem azt jelenti, hogy minden családi ház családi házas övezetbe kerül, és azokat házhoz rendelt gyűjtőjáratok fogják kiszolgálni. Az iterációs vizsgálat eredményeként definiálható-, magas gyűjtési hatékonysággal rendelkező-, a különböző típusú területszegmensek kiszolgálására eltérő módszereket alkalmazó gyűjtőrendszer csak akkor fogja biztosítani az 5-14. táblázatba foglalt teljesítménymutatókat, ha a szolgáltató a javasolt területi felosztást következetesen alkalmazza.

A modellterületen a dolgozat elkészültével egy időben folyik a házhoz rendelt gyűjtés kiépítése, sajnos a rendszer teljesítményéről a kezdeti fázisban elérhető adatok még nem alkalmasak az elvégzettekhez hasonló összevetés elvégzésére.

5.13.3 A szelektív hulladékgyűjtő szigetek kiszolgálásának gyakorlatának jellemzése a modellterületen gyűjtött adatok statisztikai elemzése alapján

A modellterületen működő hulladékgyűjtési közszolgáltatás üzemeltetője, az AVE Miskolc Kft. 2005 –ben kezdte el a szelektív gyűjtést lehetővé tevő infrastruktúra kiépítését. Ezen folyamat során a közszolgáltató a gyűjtőrendszer működtetéséhez szükséges ráfordításokat (a kihelyezett gyűjtőkonténerek számát, az ürítési időintervallumokat, a szolgáltatási terület felosztását a gyűjtőjáratok között, illetve a gyűjtésbe bevont járművek számát, stb.) illetve a rendszer működésének eredményét (a gyűjtött hulladékmennyiséget, illetve az igénybevevők elégedettségét) együttesen figyelembe véve gazdaságosan üzemeltethető, hatékony rendszer kialakítását célozta. Az 5-20. ábraán megjelenő gyűjtősziget – elhelyezés ezt követően egy év múlva alakult ki, a lakossággal illetve a közterületek használatát szabályozó hatóságokkal történő egyeztetések eredményeként. A gyűjtőszigetek konténereinek ürítési időközzeire vonatkozóan a közszolgáltatási szerződésben minimálisan 7 napos periódusokat határoztak meg. A gyűjtéskor a közszolgáltató szembesült a konténerek telítődésének kvázisztochasztikus jellegével. Emiatt az állandó periódusú kiszolgálások mellett a konténerek telítettségétől függő- (igény szerinti) és egyes időszakokban a feltételezettől gyakoribb ürítésére kényszerült a gyűjtőszigetek környezetének tisztán tartása érdekében.

Adatgyűjtés

A gyűjtőszigetek kiszolgálásának érdekében 5 db, különböző ("A", "B", "C", "D", "E") járatot alakítottak ki, melyek a szolgáltatási területet a mellékletben szereplő 7-23. táblázat megjelenített felosztás szerint járták be. A járatok a gyűjtőszigetek papírt és műanyagokat gyűjtő konténereit együtt-, az üveg konténereket pedig ezektől elkülönítve ürítik. A szigetek felkeresése során mind az ürített- mind a ki nem ürített gyűjtőkonténerek telítettségét dokumentálják. Ezen műveletet a kiszolgálást végző jármű személyzete mérőműszer igénybevétele nélkül, a gyűjtőedény- és tartalmának térfogatát összevetve végzi. A művelet elvégezhetőségének érdekében a következő telítettség- kategóriákat különböztetik meg egymástól:

1. üres: ha a konténer egyáltalán nem tartalmaz hulladékot,
2. minimális: ha a konténerben elhelyezett hulladék mennyisége csekély,
3. negyed térfogat: ha a konténer a minimálistól több hulladékot tartalmaz, de félig még nem telt meg,
4. félig telt,

5. háromnegyed térfogat: ha a konténer telítettsége a kapacitásának felét meghaladja, de még nem telt meg,
6. teli konténer: ha a gyűjtőkonténerbe már nem fér több hulladék.

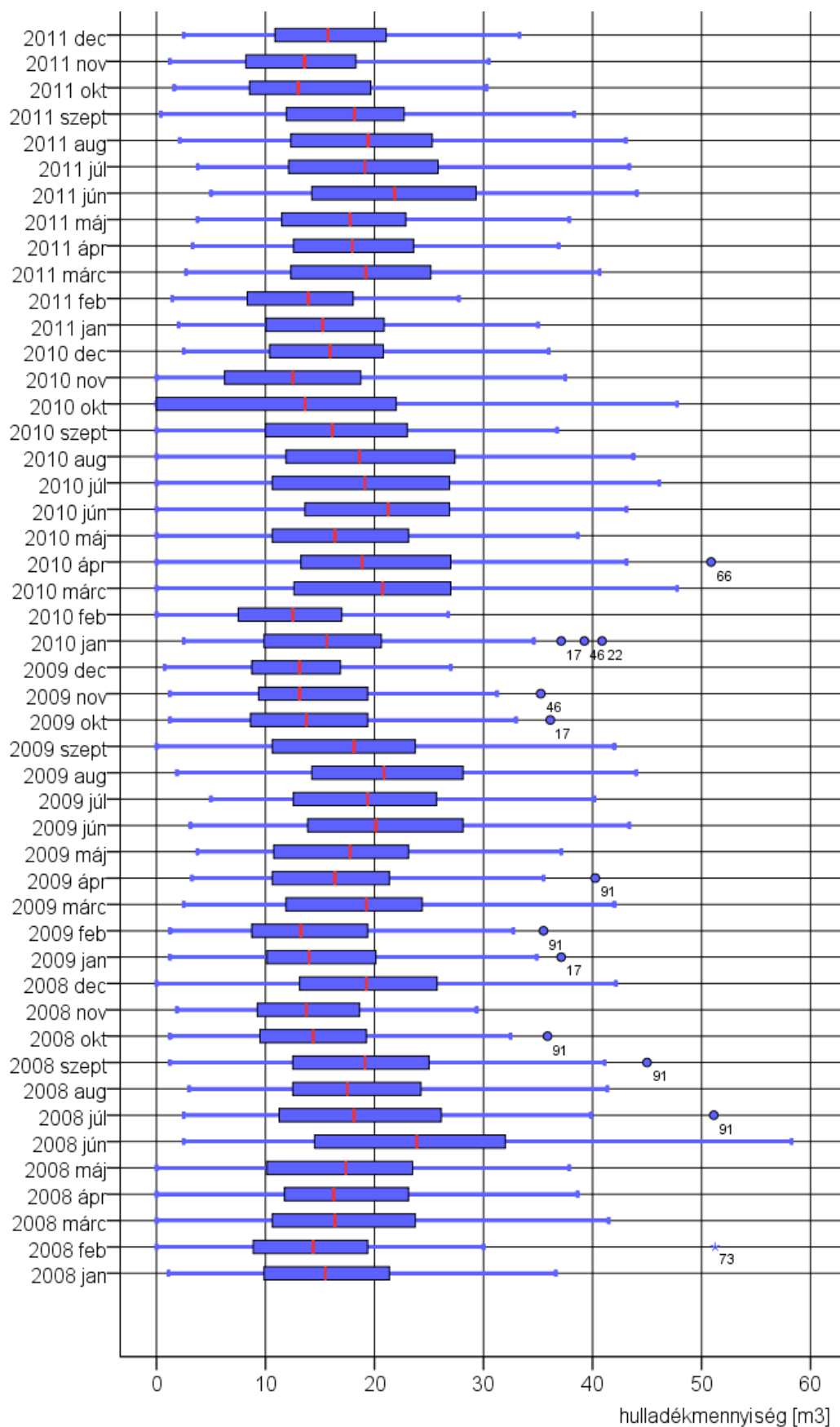
A közszolgáltató a fenti módszerrel gyűjtött adatokat a gyűjtőjáratok tevékenységének dokumentációjának részeként tartja nyilván – irattárában. Ezekben a dokumentumokban rögzített adatok képezik a jelenleg elérhető legpontosabb nyilvántartást az egyes gyűjtőszigetek lakosság általi igénybevételére és az év különböző időszakában keletkező elkülönítetten gyűjthető hulladékok mennyiségének változására vonatkozóan is. A dolgozatom célkitűzésének- a minél hatékonyabb gyűjtőrendszer kialakításának - elérése érdekében kérelmeztem a közszolgáltatótól az adatokhoz való hozzáférést. Az AVE Miskolc Kft. hozzájárult adatainak a kutatási tevékenységem során való felhasználásához, rendelkezésemre bocsátotta a gyűjtőjáratok tevékenységének a 2008-tól 2011-ig terjedő időintervallumban való nyilvántartását.

Egy járat tevékenységét rögzítő nyilvántartás (releváns) adattartalma:

- a felkeresés dátuma,
- a gyűjtött hulladék típusa (papír és műanyag; vagy üveg),
- a felkeresett gyűjtőszigetek azonosítója,
- a felkeresett gyűjtőszigetek konténereinek telítettsége (telítettségi kategóriája),
- az ürítés elvégzésének ténye.

A dokumentáció papír alapú, ezért a vizsgálatokhoz szükséges idősorokhoz való hozzájutás érdekében elvégeztem a nyilvántartások leképzését számítógép segítségével feldolgozható adatbázissá.

A statisztikai vizsgálathoz [52] szerint olyan statisztikai adatbázisra van szükség, mely a vizsgálatok végeredményét nem befolyásoló, ún. véletlen hibán túl, nem tartalmaz hibás értékeket. Ilyen hibás értékek például az írásos dokumentumok digitalizálása során elkövetett helytelen adatbevitelből, vagy egyéb torzító hatásból származhatnak. A statisztikai vizsgálatokat megelőző adattisztítás célja a logikailag nem konzisztens adatok, valamint a kiugró értékek azonosítása, illetve a hiányzó értékek kezelése. Az 5-21. ábra grafikonja az inkonzisztens értékek megkeresését mutatja be az adattisztítás során. Az 5-21. ábra a szolgáltatási területen elhelyezkedő gyűjtőszigetekről származó hulladékmennyiség-értékeket tartalmazó adatbázis alapján nyerhető.



5-21. ábra: A szelektíven gyűjtött hulladékok mennyiségének szigetenkénti megoszlása 2008 január és 2011 december hónapok között

Az 5-22. ábrán egymás fölött megjelenített vízszintes sávok mutatják az egyes gyűjtőszigetekről az adatgyűjtés hónapjaiban összesen elszállított hulladékmennyiségek egymáshoz viszonyított eloszlását, azaz azokat az értékeket, amelyek körül ezek a mennyiségértékek csoportosulnak. A kék sávok a mennyiségek sorba rendezett értékeinek alsó és felső negyedének távolságát ([52] ezt az értéket interkvartilis terjedelemnek nevezi) és elhelyezkedését mutatják. A sávokban látható piros vonal a medián, a kék vonalak pedig azt mutatják, milyen intervallumban kellene szóródnia a mennyiségértékeknek akkor, ha az eloszlásuk normál eloszlás lenne (az interkvartilis terjedelemhez képest másfélszeres távolságon belül). Az ezen a sávon kívüli értékeket azonosítja [52] olyan kiugró értéként, mely az elemzéseket nagymértékben befolyásolják.

A grafikon segítségével több, a szelektív hulladékgyűjtő rendszerek üzemeltetése során értékes gyakorlati megállapítás tehető:

- a legtöbb esetben havonta 10-20m³ közt ingadozik a gyűjtőszigeteken elhelyezett hulladékmennyiség átlagos értéke,
- a kiugró értékek mindegyike a nagyobb hulladékmennyiség- értékek irányában tér el a többi adattól, és ezen értékek többsége a 91., 17., 46. számú szigetekről származik.

A statisztikai vizsgálatok eredményei azt bizonyítják, hogy a kiugró értéként azonosított hulladékmennyiségek mind a legtöbb hulladékot gyűjtő (már említett számú) szigetekről származnak, így ezek nem az adatfeldolgozás hibájából származó értékek.

A konzisztencia-vizsgálat tehát nem azonosított a további statisztikai vizsgálatok előtt eltávolítandó adatokat, így az adatgyűjtés révén (az 5-16. táblázatba foglalt módon) összesen 106 870 db mérési eredményhez jutottam, melyekhez az egyes gyűjtőkonténerek átlagosan mintegy 240 db adatot szolgáltatottak. Ezen adatokat a szigetek területi elhelyezkedésének ismeretében kellőképpen részletes információforrásnak értékelem ahhoz, hogy a vizsgálat 2008-2011 éveit felhasználva statisztikai következtetéseket vonjak le:

- egyrészt a különböző típusú lakóépületekkel jellemezhető területszegmensek gyűjtőszigeteinek telítődésére (ezáltal azok lakosság általi igénybevételére) vonatkozóan,
- másrészt pedig az év különböző időszakaiban fellépő szezonális hatásokra vonatkozóan.

5-16. táblázat: A statisztikai vizsgálatok alapjául szolgáló adatbázis adatainak számossága

	A konténertelítettség- mérések száma [db]
"A" járat	22 852
"B" járat	21 544
"C" járat	21 828
"D" járat	20 438
"E" járat	20 208
összesen	106 870

Megállapítható, hogy az egyes gyűjtőjáratok által végzett mérések száma közel azonos, ennek ingadozása nem haladja meg a 2,5% -ot.

Az adatok további feldolgozása során a következő feltételezésekkel élek [52] alapján:

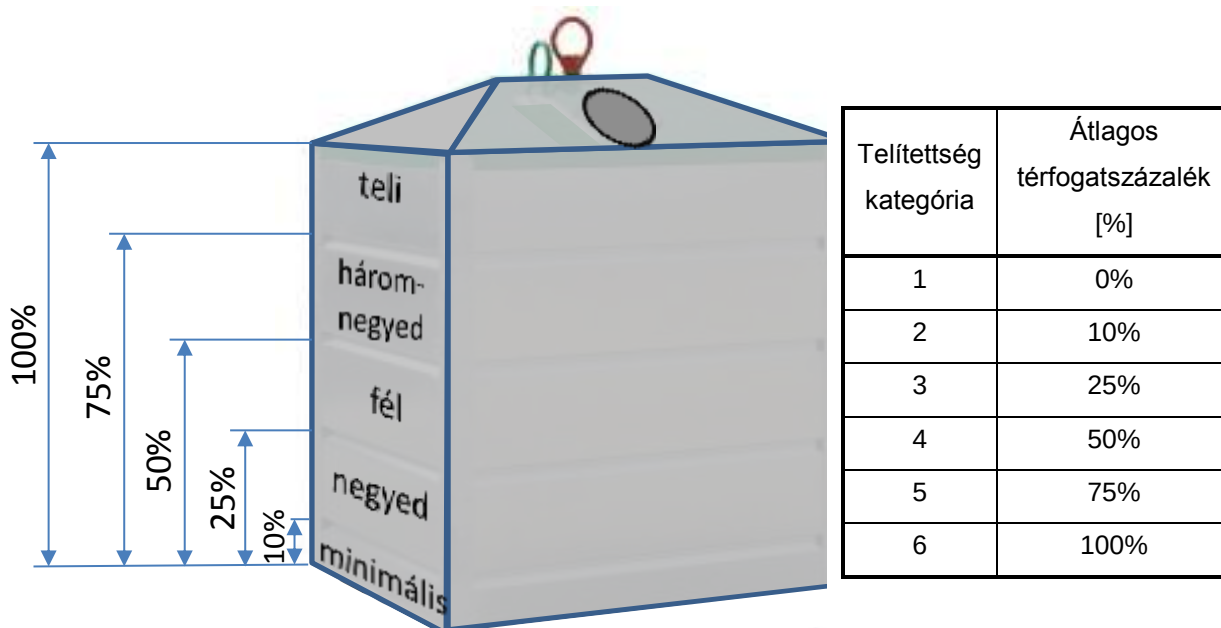
- az említett adatbázisban foglalt értékek, azaz az egyes hulladékgyűjtő konténerek telítettségei arányskálán értelmezhető-, egy kategorizált metrikus változó által felvett értékekké konvertálhatóak, amit a gyűjtőkonténerek ürítéskori telítettsége határoz meg. Ennek segítségével az egyes konténerekben keletkező mennyiségek közötti arányok összehasonlíthatóak és összegeezhetőek is,
- a statisztikai vizsgálatok alapját képező adatbázis (statisztikai értelemben sokaság) adatainak felvétele census alkalmazásával történt. Az adatgyűjtés a szolgáltatási terület összes hulladékgyűjtő konténerére kiterjedt, ami biztosítja a minta reprezentativitását. Emiatt ez az elemzési forma kedvezőbb, mintha egyes, kiválasztott szigeteken keletkező hulladékmennyiségeket vizsgálnék. A célom olyan általánosítható következtetések levonása a vizsgálatok eredményekből, melyek nem csak a bemutatott szolgáltatási területre érvényesek, hanem bármely, hasonló gyűjtési módszert alkalmazó hulladékgyűjtő rendszerre is alkalmazhatóak,
- a fentebb vázolt módszerrel végrehajtott mérések hibája statisztikai értelemben véletlen hibának minősül.

Adatfeldolgozás

Az adatok digitalizálását követően az imént vázolt módszernek megfelelően a telítettség-kategóriákhoz térfogatszázalék- értékeket rendeltem (5-23. ábra), majd az így nyert telítettség- adatbázisból kiválogattam azokat a méréseket, amelyeknél megtörtént a hulladékgyűjtő konténer ürítése. Az így kapott adatbázis (kiszolgálási adatbázis) tartalma:

- az ürítés dátuma,
- a gyűjtősziget azonosítója,
- az ürített konténerek telítettsége térfogatszázalékban kifejezve.

A kiszolgálási adatbázisban foglalt értékeket megszámlálva és az egyes gyűjtőjáratok szerint csoportosítva az 5-17. táblázatban közölt eredményekhez jutottam.



5-23. ábra: A telítettség mérések eredményének felhasználása a statisztikai vizsgálatokhoz megfelelő kategorizált metrikus változó leképezéséhez

A kiszolgálási adatbázis térfogatszázalékainak és az egyes hulladékfajtákat gyűjtő konténerek térfogatának szorzataként definiálom a hulladékmennyiség adatbázist, melyet a különböző lakóépületekkel jellemezhető területszegmensekről begyűjthető hulladékok mennyiségeinek összehasonlítására, valamint a szezonális hatások elemzésére is felhasználok.

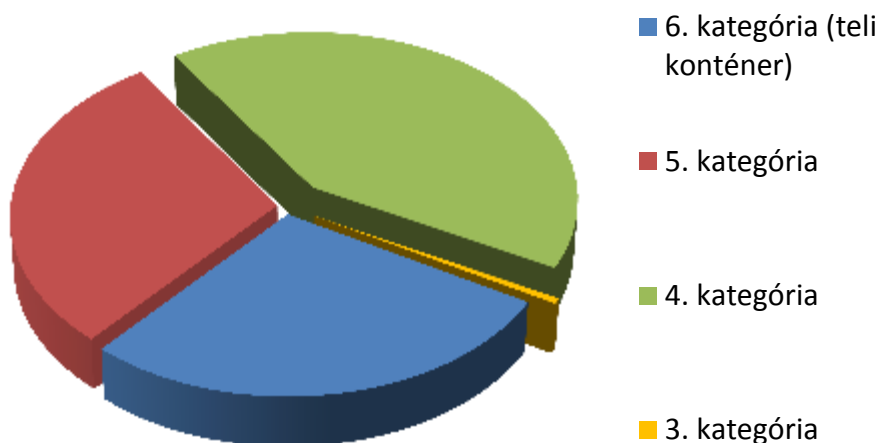
Mennyiségi jellemzés

A kiszolgálási adatbázisban foglalt adatokból a 5-17. táblázat szerinti kimutatás készíthető az egyes konténerek ürítéskori telítettségére vonatkozóan.

5-17. táblázat: A gyűjtőkonténerek ürítésekor tapasztalható telítettség a vizsgált időszak alatt (2008.01.01-2011.12.31)

Telítettség - kategória	1	2	3	4	5	6	összesen
Az ürítések száma „A” járatban [db]	0	0	95	4 542	3 164	3 611	11 412
Az ürítések száma „B” járatban [db]	0	0	46	4 135	3 263	3 222	10 666
Az ürítések száma „C” járatban [db]	0	0	52	4 623	3 475	3 379	11 529
Az ürítések száma „D” járatban [db]	0	0	31	4 327	2 888	2 584	9 830
Az ürítések száma „E” járatban [db]	0	0	63	4 514	2 707	2 042	9 326
Az adott telítettség melletti ürítések száma összesen [db]	0	0	287	22 141	15 496	14 838	52 763
az összes ürítéshez viszonyított arány [%]	0%	0%	0,54%	41,96%	29,37%	28,12%	100%

Megállapítható, hogy a gyűjtőkonténerek 106 870 alkalommal történő felkeresése mellett azok összesen 52 763 esetben lettek ürítve, azaz a mérések több mint felénél nem történt ürítés, és az összes mérés 13,88%- ban ürítettek teli gyűjtőkonténereket, ami az összes ürítés mennyiségéhez képest csak mindössze 28,12%-os arányt jelent.



5-24. ábra: A kiszolgálási adatbázisból származó kimutatás eredménye a gyűjtőszigetek ürítéskori telítettségéről

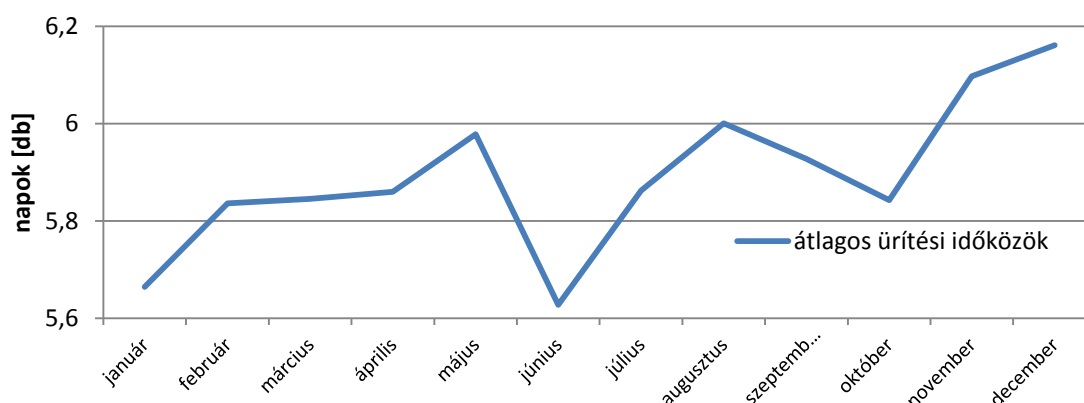
A gyűjtőszigetek konténereinek kiszolgálása a gyakorlatban legtöbbször azok félig teli állapotában (4. telítettség kategória) történik. Ez azt jelenti, hogy az ilyen telítettség melletti konténer ürítések száma mintegy másfélszerese a teli konténerek ürítésének.

5-18. táblázat: A szelektív hulladékgyűjtő szigetek kiszolgálását végző járatok által teljesített ürítési időköz- értékek átlagai 2008 – 2011

	PET [napok]	üveg [napok]	papír [napok]	A gyűjtőjáratokra vonatkozó átlagos érték [napok]
"A" járat	5,39	5,39	5,39	5,39
"B" járat	5,55	5,55	5,55	5,55
"C" járat	6,20	6,20	6,19	6,20
"D" járat	6,40	6,39	6,39	6,40
"E" járat	6,14	6,14	6,14	6,14
A hulladékfajtákra vonatkozó átlagos érték [napok]	5,94	5,94	5,93	5,94

Az egyes ürítések közt eltelt napok száma tekintetében az 5-18. táblázatba foglalt átlagértékek szerint teljesül a szolgáltató által vállalt ürítési gyakoriság. Látható, hogy minden járat a hozzá tartozó gyűjtőszigetek minden frakciójának gyűjtőkonténerét átlagosan 6 naponta kiürítette.

Az átlagos ürítési időközök viszonylagos állandóságáról az 5-18. táblázat által közvetített kép árnyalható a vizsgálati időintervallum egyes hónapjainak átlagát tekintve. Az egymást követő ürítések közt eltelt idő havi átlagának változását mutatja az 5-25. ábra szintén a kiszolgálási adatbázisból készített kimutatás révén. Az ábra tanulsága szerint az ürítési időközök átlagosan júniusban a legrövidebbek (kb. 5,6 nap), közel ennyi a januári érték is, viszont az év végén az átlag 6,2 nap környékén alakul. Az év összes többi hónapjában 5,8 – 6 nap közötti sávban marad.



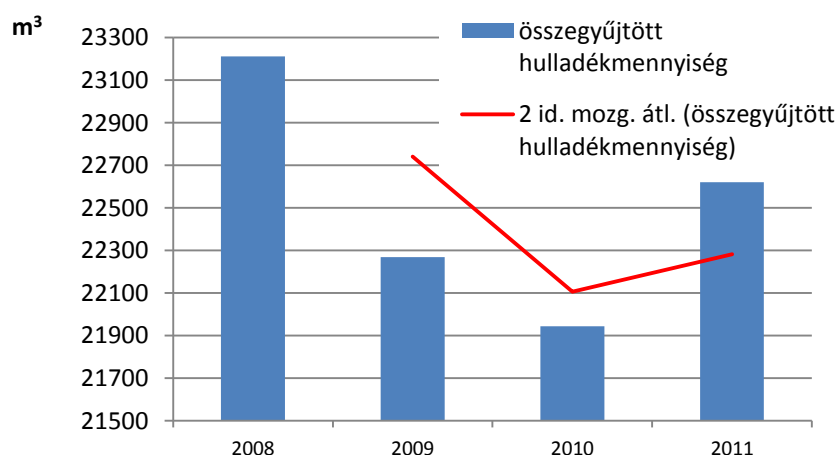
5-25. ábra: Az átlagos ürítési időközök az összes hulladékfajta gyűjtőkonténereire, valamint 2008 -2011 évekre vonatkozóan havi bontásban

A hulladékmennyiség adatbázis adatainak összegzése alapján megállapítható, hogy a vizsgált időszakban a 5-19. táblázatba foglalt hulladékmennyiséget gyűjtötték be a szolgáltatási területről.

5-19. táblázat: A gyűjtőszigetekről elszállított hulladékmennyiségek változása az adatgyűjtés időtartama alatt

	2008	2009	2010	2011	4 év alatt összesen
összes gyűjtősziget [m ³]	23 212	22 269	21 944	22 621	90 425

5-26. ábra azt mutatja, hogy az egyes évek során gyűjtött hulladékmennyiségek időszakos átlagai (2 egymást követő évet átlagolva) 2008 és 2010 között csökkentek, a vizsgálat utolsó évére pedig növekedtek. Az átlagok változását mutató (piros vékony) vonalak meredekségei mutatják, hogy a vizsgálat korábbi éveiben tapasztalható csökkenés mértéke intenzívebb, mint az utolsó időszakban tapasztalható növekedés. A [2] által leírt, a hulladékmennyiség és a lakossági fogyasztás, valamint a fogyasztás és az életszínvonal – jövedelemszint közötti összefüggések ismeretében a 5-26. ábra hulladékmennyiség- változása a vizsgálat éveiben tapasztalható gazdasági válság hatásának tulajdonítható.



5-26. ábra: A szelektív gyűjtőszigetek kiszolgálása révén gyűjtött hulladékmennyiség változása a vizsgálat időintervalluma alatt

A hulladékmennyiség adatbázist részletes vizsgálatnak vetettem alá annak érdekében, hogy kiderítsem, kimutatható-e a gyűjtőrendszer- tervező modell területi besorolása által egymástól megkülönböztetett területeken (családi házas és társasházak területek) elhelyezkedő szigetekhez köthető értékek különbözősége.

Az 5.13 fejezetben részleteztem, hogy az optimális gyűjtőrendszer- modell területi megkülönböztetése a szolgáltatási terület gyűjtőszigeteit az 5-20. ábra szerint osztja fel családi házasnak- illetve társasházsnak tekintett területeken való elhelyezkedés

szempontjából. A 109 gyűjtőszigetből 20 db gyűjtősziget családi házas jellegű-, a többi pedig társasházak területén helyezkedik el.

Családi házas területre esik tehát a szolgáltatási terület szigeteinek mintegy 18,5%-a. Az 5-20. táblázat a gyűjtőjárat-tervező modell által optimálisnak értékelt területi felosztás szerint csoportosítva tartalmazza az egyes gyűjtőszigetekről a vizsgálat időintervallumában begyűjtött hulladékmennyiségeket. Látható, hogy a családi házas területekről begyűjtött mennyiség az összmennyiséghez viszonyítva 14,21% és 16,04% közt ingadozik. Ez mintegy 2,5- 4,3%- kal kevesebb, mint a családi házas területeken elhelyezkedő szigetek és az összes gyűjtősziget darabszámának aránya.

5-20. táblázat: A gyűjtőszigetekről elszállított hulladékmennyiségek a gyűjtőrendszer- tervező modell területi felosztásának megfelelően csoportosítva

	2008		2009		2010		2011		Összesen	
	[m ³]	[%]	[m ³]	[%]	[m ³]	[%]	[m ³]	[%]	[m ³]	[%]
családi házas területek gyűjtőszigetei	3 724	16,04%	3 498	15,71%	3 173	14,21%	3 500	15,47%	13 895	15,37%
társasházak területek gyűjtőszigetei	19 488	83,96%	18 771	84,29%	18 771	85,79%	19 121	84,53%	76 530	84,63%

A gyűjtőrendszer- tervező modell célja a területi megkülönböztetéssel az, hogy célirányos gyűjtési rendszert lehessen kialakítani a társasházak és a családi házas területeken. A modellen végzett vizsgálatok eredményeként a társasházak területekre gyűjtőszigetes-, míg a családi házas területekre házhoz rendelt gyűjtőjáratok révén megvalósuló gyűjtési módszer bevezetését javaslom.

A szóban forgó szolgáltatási terület esetén a vizsgálat 104 db gyűjtősziget elhelyezését eredményezte 5-17. ábra által meghatározott helyekre. A [21] a szigeteknek a lakosság általi átlagos felkeresési távolsága és azok szelektív gyűjtésben való részvételi hajlandósága között olyan összefüggést határozott meg, ami alapján kijelenthető, hogy (társasházak területeken való) sűrűbb szigetelrendezés több hulladékot eredményez.

Ebből kiindulva, megvizsgáltam, hogy milyen arány mutatható ki a 20 db-, legtöbb hulladékot „gyűjtő” sziget mennyiségei, és családi házas területeken elhelyezkedő szigetek által gyűjtött hulladékmennyiségek között. Az ennek a vizsgálatnak alapjául szolgáló gyűjtőszigetek jellemzésére szolgál a 5-21. táblázat, az eredményeit pedig a 5-22. táblázat tartalmazza.

5-21. táblázat: A legjobban teljesítő, a gyűjtőrendszer-tervező modell által megkülönböztetett területeken elhelyezkedő gyűjtőszigetek

a gyűjtősziget helye		azonosító	2008	2009	2010	2011	össze- sen
			[m ³]				
a legtöbb hulladékot gyűjtő, társasházak területen elhelyezkedő gyűjtőszigetek	Király és Bihari u. kereszt.	91	449	423	379	405	1656
	Pallós utcai iskola melletti parkoló	46	393	408	341	371	1513
	Martin Kv. Kisfaludy u. parkoló	17	378	368	368	375	1489
	Avas-Klapka u. Plus ABC mögötti parkoló	33	377	341	367	365	1450
	Tapolca – Junó Hotel előtti parkoló	21	347	347	391	351	1436
	Avas - Klapka és Leszih u. kereszt.	32	349	341	329	344	1363
	Avas - Aulich u. 22	40	340	324	325	336	1325
	Görömböly -Szolártsik tér, Coop bolt mellett	9	372	309	292	320	1293
	Bíró és Avar u. kereszt., Bükk Áruház mögött	55	316	330	318	326	1290
	Cora Hipermarket parkolója	10	327	328	309	314	1278
	Kuruc u. ABC mögött	66	309	304	346	316	1275
	Volt Otthon Étterem melletti parkoló	74	315	328	311	315	1269
	Martin Kv. Berzsenyi utcai buszmegálló	15	309	314	330	312	1265
	Gálffy u., Rózsakert ABC előtti parkoló	86	303	291	348	308	1250
	Tapolca – Aradi sétány	22	296	312	303	310	1221
	Stadion vendéglő mögötti parkoló	59	303	295	309	301	1208
	Avas - Tapolcai elág. buszmegálló mögött	38	294	287	325	299	1205
	Endrődi utcai iskola mellett	71	290	291	323	300	1204
	Avas - Klapka és Kölcsey u. kereszt.	30	341	272	260	289	1162
	Andrássy úti Penny Market melletti parkoló	76	273	286	314	288	1161
	Hejőcsaba - Futó u., Hejő ABC előtt	3	277	272	288	288	1125
a családi házas területen elhelyezkedő gyűjtőszigetek	Szirma- Berekker és Miskolci u.kereszt.	13	255	269	300	279	1103
	Szirma- Hajnóczi út. Coop bolt parkoló mellett	14	243	244	283	263	1033
	Szirma- Mályva u. (temető)	12	270	247	214	241	972
	Hejőcsaba-Farkas-Szalag kereszt. (trafóház)	4	197	202	238	226	863
	Szirma-Erkel F. u. Hangulat presszó előtt	11	222	204	210	220	856
	Komlóstető, Lomb u. buszforduló	83	182	221	214	201	818
	Tapolca – Aradi sétány Strand közelében	23	258	301	35	195	789
	Hejőpark 24-es busz végállomásánál	6	189	185	192	182	748
	Tokaji Ferenc utca 55	73	268	143	138	192	741
	Hejőcsaba-Almáskert u.Róna presszó előtt	5	180	169	190	183	722
	Görömböly Bacsynszki u. buszmegálló	7	182	172	168	173	695
	Csanyik Majális parkoló	67	199	193	62	155	609
	Pereces, Erenyő u. 3. előtt	61	162	153	127	140	582
	Pereces, Barátság téri buszm., Vilma presszó	60	154	132	145	141	572
	Komlóstető – Olvasztár utcai buszmegálló	82	143	145	139	142	569
	Egyetemváros – E/5 kollégium előtt	24	147	83	56	103	389
	Bükkszentlászló 68-as busz végállomása	80	89	63	63	83	298
	Görömböly- Téglá u. élelmiszer bolt előtt	8	60	53	63	53	229
	Bükkszentlászló, Fő u. híd mellett	81	47	47	48	40	182

Az 5-22. táblázatból kiolvasható, hogy a családi házas övezetek gyűjtőszigetein a legjobban teljesítő, ugyanolyan darabszámú társasházak szigethez képest a vizsgálat időszakában átlagosan csak mintegy 53%- térfogat-százaléknyi hulladékot helyeztek el.

5-22. táblázat: A legtöbb gyűjtött hulladékkal jellemezhető- és a családi házas területekre eső gyűjtőszigetekről származó éves hulladékmennyiségek összehasonlítása

	2008		2009		2010		2011		Összesen	
	[m ³]	[%]	[m ³]	[%]	[m ³]	[%]	[m ³]	[%]	[m ³]	[%]
Családi házas területek szigetei (20db)	3 724		3 498		3 173		3 500		13 895	
Társasházak területek szigetei	19 488	19,11%	18 771	18,64%	18 771	16,90%	19 121	18,30%	76 530	18,16%
Társasházak területek legjobban teljesítő szigetei (20 db)	6 681	55,74%	6 499	53,82%	6 588	48,16%	6 545	53,48%	26 313	52,81%

Az eddigi vizsgálataim eredményei alapján úgy ítélem meg, hogy gyűjtőszigetek elhelyezése indokoltabb társasházak jellegű lakóépületekkel jellemezhető területeken, mint családi házas területeken. Ezért amennyiben az elkülönítetten gyűjthető hulladékok mind teljesebb összegyűjtése a cél, a családi házas területeken házhoz rendelt gyűjtőjáratok működtetése indokolt.

A további vizsgálatok során először arra a kérdésre keresem a választ, hogy milyen szezonális hatások befolyásolják a gyűjtőszigetek elhelyezett hulladékok mennyiségét az év különböző időszakaiban, majd megvizsgálom, hogy ezek a hatások hogyan jellemezhetők a gyűjtőrendszer- tervező modell által megkülönböztetett területeken elhelyezett szigetek esetében.

Az 5-25. ábra arra utal, hogy a gyűjtést végző szolgáltató júniusban sűrűbben közlekedtet a gyűjtőjáratokat. Visszaigazolja-e vajon a hulladékmennyiség adatbázis újabb vizsgálata ennek szükségességét? A kérdés elemzésére szezonálisvizsgálatot végeztem a szigetek elhelyezhető mindhárom hulladéktípus havi mennyiségeinek alakulása alapján.

Szezonálisvizsgálat

A lakossági fogyasztás mértéke, és annak változása alapvetően meghatározza a képződő hulladék mennyiségét és összetételét is [2]. Ezáltal a szelektíven gyűjthető hulladékmennyiségek idősorainak viselkedését is nagymértékben befolyásolják olyan tényezők, amelyek különböző évek azonos időszakaiban, közel azonos irányban és mértékben hatnak. Az idősorok újabb és újabb időszakok alatti megfigyelései révén elvégezhető a hulladékképződés szezonális változását okozó tényezők, valamint a trend felülvizsgálata, periodikus újraértékelése is. A gyűjtőszigetek felkereséséhez és ürítéséhez kapcsolódó adatgyűjtés révén nyert adatokból a hulladékok mennyiségi és minőségi jellemzőit statisztikai módszerek alkalmazásával dolgoztam fel annak érdekében, hogy

megvizsgáljam, milyen módon változik a gyűjtőjáratokkal szemben támasztott szállítási igény egy éves időperiódus alatt.

Ahhoz, hogy a szezonális hatások elemzése elvégezhető legyen, a következő diszjunkt komponensekre (elkülönülő összetevőkre) szükséges bontani az eredeti idősorokat (X_t):

- a trend komponens (T_t): a vizsgálat időhorizontja alatt (azaz hosszútávon) az adott idősor alapirányzatát adja meg,
- a szezonális komponens (S_t): a trendtől való *rövidtávú* (éven belüli, szabályos) eltéréseket tartalmazza,
- a véletlen komponens (R_t): az előre nem jelezhető, véletlen hatásokat testesíti meg, melyekről azt feltételezem, hogy 0 vagy 1 várható értékűek attól függően, hogy az idősorok jellemzésére additív vagy multiplikatív leírás alkalmazható.

Ezen komponensek, illetve az eredeti idősorok közötti viszonytól függően alkalmazhatók az egyes leírások a szezonálisvizsgálat során.

Az additív leírás alapfeltevése, hogy a vizsgálat időhorizontja alatt az eredeti folyamat és a trend közötti különbség (szezonális eltérés) az időszakaszoktól független.[50]

Ebben az esetben:

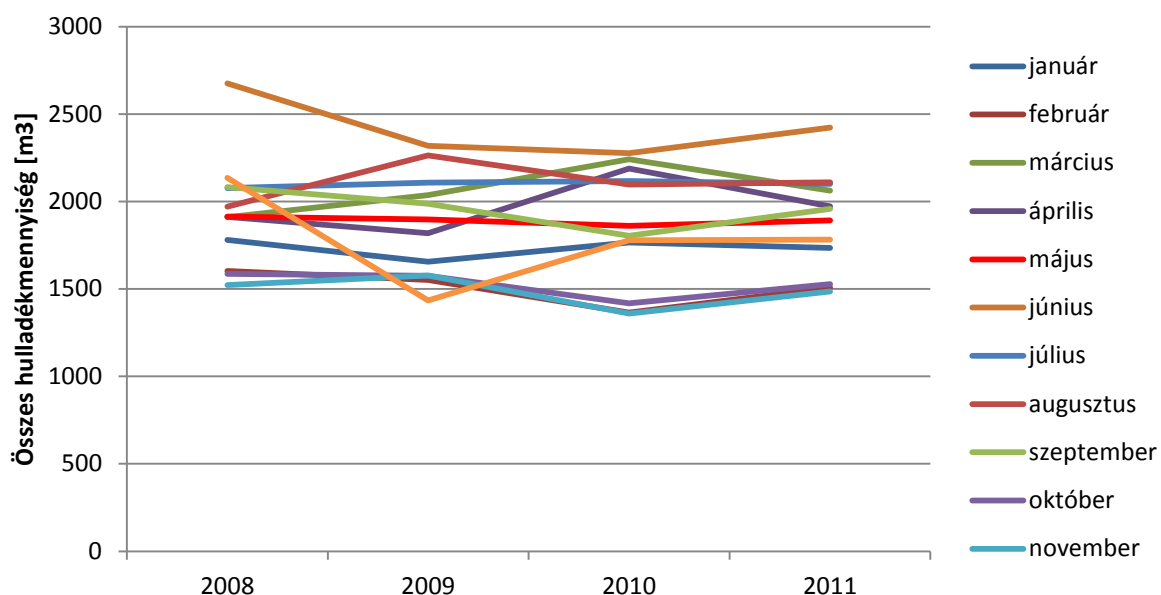
$$X_t = T_t + S_t + R_t \quad (5.26)$$

Multiplikatív leírás esetén pedig a vizsgált idősor, illetve a trend hányadosa (szezonindex) tekinthető állandónak. (azaz időszakaszoktól függetlennek):

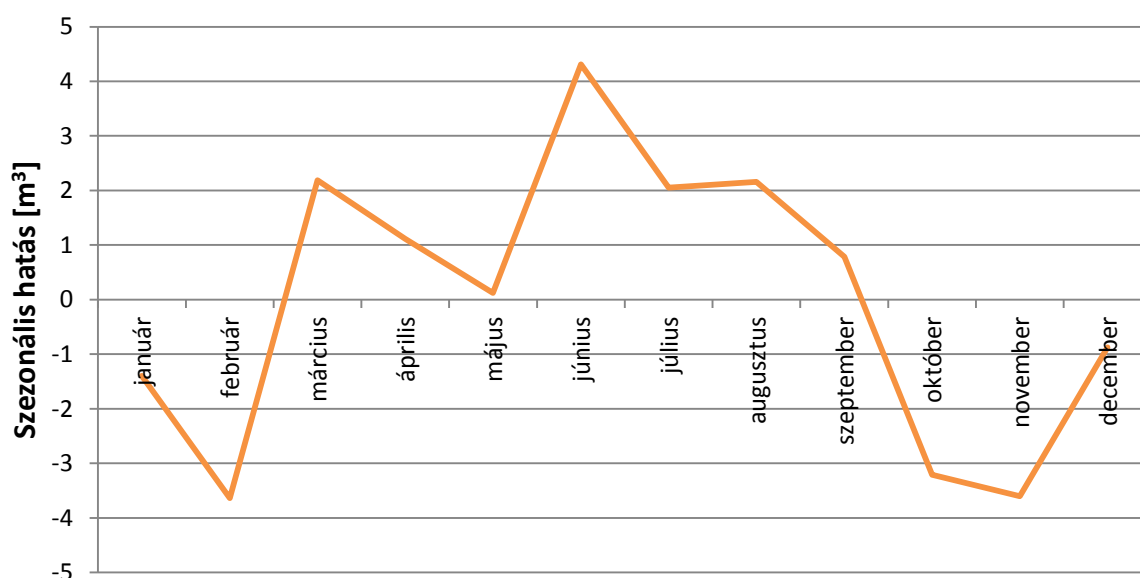
$$X_t = T_t S_t R_t \quad (5.27)$$

Annak eldöntéséhez, hogy a szezonálisvizsgálathoz melyik leírási formát válasszam, a 5-27. ábrán ábrázoltam az egyes évek hónapjaiban gyűjtött összes hulladékmennyiségeket. A görbesereg képét az additív és a multiplikatív jellegű szezonális hatások [1]-ben szerepeltetett grafikonjaival hasonlítottam össze.

Az összehasonlítás eredményeként a szezonális vizsgálatához az 5-27. ábra alapján az additív leírást választom, mert az azonos hónapokban gyűjtött hulladékmennyiségek közötti különbségek az egyes években tapasztalható értékeket összekötő szakaszok meredekségeinek előjelváltozásai által jelzett módon nem utalnak a trendkomponens és a szezonkomponens között multiplikatív összefüggésre.



5-27. ábra: Az év ugyanazon hónapjaiban összegyűjtött hulladékmennyiségek változása az adatgyűjtés időtartama alatt

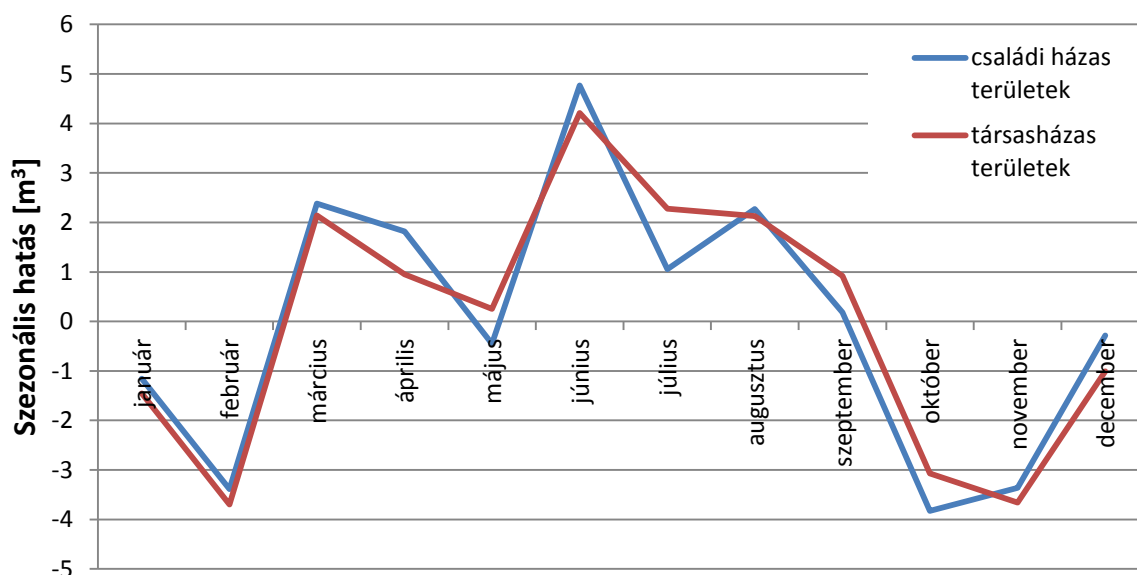


5-28. ábra: A szezonális hatásának megjelenítése a hulladéktípusok mennyiségeinek összegein

Az (5.26) összefüggés felhasználásával dekompozíciós műveletet végezve az egyes hulladéktípusok mennyiségeinek összegét tartalmazó adatbázison, és a művelet eredményeként előálló-, a gyűjtőszigetekre ható átlagos szezonális komponensek egyes hónapokban tapasztalható értékeit ábrázoltam az 5-28. ábra. A grafikonról leolvasható, hogy a szigetekről begyűjtött hulladékmennyiségeket az egyes hónapokban fellépő hatások átlagosan hány m^3 -rel módosítják. Látható, hogy a nyári hónapok alatt a hulladékmennyiségeket növelő szezonális komponens van jelen, míg az őszi és a kora-

tavaszi hónapokra negatív szezonális komponensek gyakorolnak hatást. Megfigyelhető az is, hogy a januári és a decemberi szezonális- komponens értékek jó közelítéssel megegyeznek, ami a szezonális hatások éves periodicitását igazolja.

Ugyanezen dekompozíciós műveleteket elvégezve az egymástól megkülönböztetett területszegmenseken elhelyezkedő szigetek külön – külön adatbázisain- az 5-29. ábra kapható. Ennek tanulsága, hogy nem tapasztalhatók nagy különbségek a szezonális hatások közt a különböző jellegű lakóépületekkel jellemezhető területek gyűjtőszigeteinek vonatkozásában. Ez azt jelenti, hogy az elkülönítetten gyűjtött hulladékok mennyisége nagyjából egyformán ingadozik minden gyűjtőszigeten. A legnagyobb különbség az 5-29. ábra görbéi közt, hogy társasházak övezetben a nyári hónapok mennyiség-növelő hatása egyenletesebben jelentkezik, ebből a szempontból a családi házas területek szigetein nagyobb a szezon- okozta mennyiség-ingadozás.



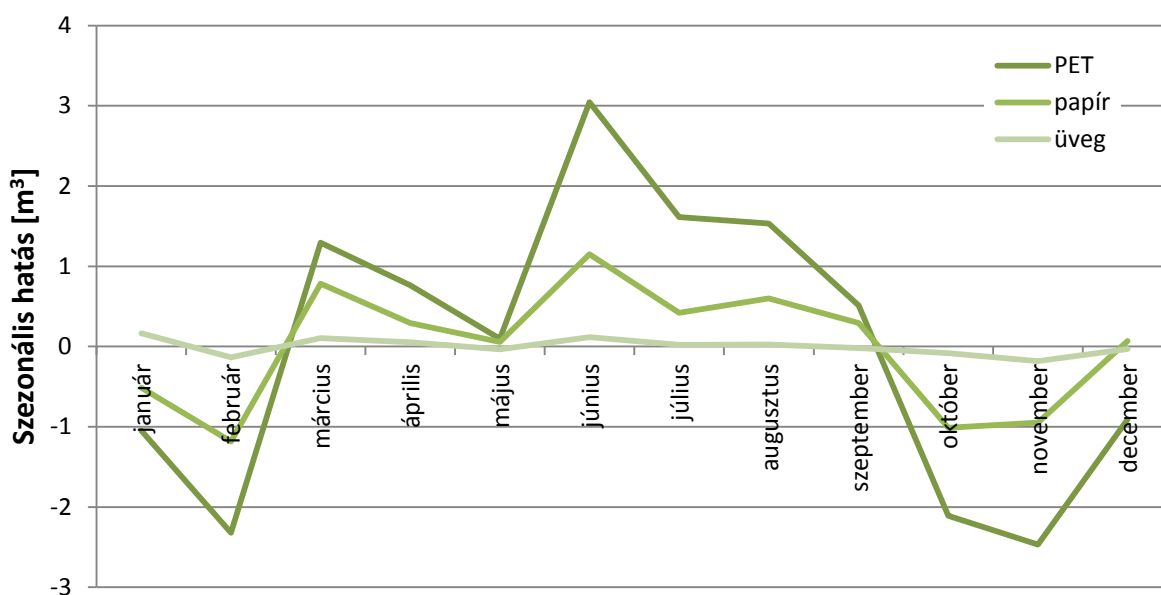
5-29. ábra: A havi átlagos szezonális hatások megjelenítése külön – külön a családi házas – és a társasházak területeken található gyűjtőszigetekről származó hulladékok mennyiségének változása kapcsán

A szezonálitással foglalkozó utolsó vizsgálat során arra a kérdésre kerestem a választ, hogy vajon a szezonális hatások egyformán módosítják- e a szelektíven gyűjtött hulladékfajták mindegyikének az egy adott időtartam alatt összegyűjtött mennyiségét, vagy különbségek tapasztalhatóak ebből a szempontból az egyes hulladéktípusok között? A dekompozíciós műveletet elvégeztem a hulladékmennyiség adatbázist az PET, papír, üveg hulladékfajtákra külön – külön leválogatva, s a vizsgálatok eredményét az 5-30. ábra foglaltam össze.

Az eredmények azt mutatják, hogy a szezonális hatások a legerőteljesebben a műanyag (túlnyomórészt PET) –hulladékfrakció átlagos havi mennyiségét befolyásolják. Az ezen

hulladékfajtára gyakorolt hatások egy éven belül mintegy 5 m³-nyi változást okoznak a frakciót gyűjtő konténerekből elszállítható átlagos havi mennyiségeiben. Ez azt jelenti például, hogy egy gyűjtőszigetről júniusban 5 m³ –rel több műanyag elszállításáról kell gondoskodnia a gyűjtést végző szolgáltatónak, mint októberben.

Ugyanezek a hatások sokkal kevésbé okoznak hulladékmennyiség- ingadozásokat a másik két elkülönítetten gyűjtött hulladékfrakció esetében. Míg az egy gyűjtőszigetről átlagosan begyűjthető papír havi mennyiségét kb. 2 m³ –rel módosítják a szezonális hatások, addig az üveg frakció nagyjából érzéketlennek nyilvánítható ebből a szempontból.



5-30. ábra: A szezonális hatások által okozott átlagos havi mennyiségkülönbségek megjelenítése minden elkülönítetten gyűjthető hulladékfajta vonatkozásában

5.14 *Új tudományos eredmények (tézisek)*

1. Definiáltam egy új, hulladékgyűjtő rendszer - tervező módszert, mely térbeli információk felhasználása révén hatékonyabb gyűjtőjáratok kialakítását teszi lehetővé:

1.1. . Megalkottam egy, a lakossági szelektív hulladékgyűjtő rendszerek vizsgálatára és tervezésére alkalmas matematikai modellt. Ennek keretében

- azonosítottam azokat a térbeli információt hordozó jellemzőket, melyek szükségesek ilyen rendszerek tervezéséhez és kimutattam az eltérő lakóépület-típusokkal jellemezhető, de településszerkezetiileg egymástól el nem különülő területtípusok megkülönböztetésének szükségességét,
- meghatároztam a hulladékgyűjtő járatok hatékonyságának kiértékelésére alkalmazható teljesítménymutatót.

1.2. Definiáltam a területtípusokhoz illeszkedő gyűjtőjárat – típusokat, illetve megmutattam a területtípusok és a rajtuk hulladékgyűjtési tevékenységet végző járatok teljesítménymutatói közötti összefüggést. Összegyűjtöttem és egy új tervezési módszerbe integráltam a szakirodalomban a kutatásom céljaira együttesen még nem alkalmazott algoritmusokat (és ezek gyakorlati alkalmazhatóságához szükséges közelítő eljárásokat).

1.3. Megmutattam, hogy az új tervezési módszer alkalmazásával egy valós hulladékgyűjtő rendszer szolgáltatási területén a szakirodalomban fellelhető-, és a jelenlegi gyakorlatban alkalmazottnál is hatékonyabb gyűjtőjáratok kialakítására nyílik lehetőség.

2. Meghatároztam a hulladékgyűjtő rendszerek gyűjtési teljesítményének időbeli változásának jellemzésére használható adatelemzési módszert:

2.1. Feldolgoztam egy működő hulladékgyűjtő rendszer konkrét tevékenységét tükröző adatokat. Kidolgoztam az adatok elemzésének módszerét. Meghatároztam, hogy milyen statisztikai leírás alkalmazható a szezonális hatások kimutatására a szelektív hulladékok gyűjtőszigetekről elszállítható mennyiségeinek idősoraiból.

2.2. Statisztikai módszerrel kimutattam, hogy különbségek tapasztalhatóak a különböző lakóépület-típusokkal jellemezhető területeken elhelyezkedő gyűjtőszigetekről származó, elkülönítetten gyűjtött hulladékok mennyiségi és minőségi jellemzői között. Megvizsgáltam, hogy miképp befolyásolja a szezonális hatások a gyűjtőszigetek telítődését, és ez milyen hatást gyakorol a gyűjtőrendszer működtetésére. Elemeztem az elkülönítetten gyűjthető hulladéktípusok esetében a szezonális hatásokat.

3. **Létrehoztam a hulladékgyűjtési rendszerek logisztikai aspektusainak térinformatikai modelljét**, illetve kidolgoztam a hozzákapcsolódó vizsgálati eljárást, mellyel meglévő rendszerek vizsgálata, és új rendszerek tervezése egyaránt végrehajtható:

3.1. A kidolgozott új tervezési módszerre alapozva meghatároztam azt a térinformatikai adatbázis-struktúrát, amely a gyűjtőrendszer-tervezéshez szükséges. Megállapítottam a kapcsolódási pontokat, amelyeket felhasználva definiáltam az egymásra épülő rendszertervezési fázisokat. Ezeket iterációs eljárással kombináltam, így a szakirodalomban fellelhető gyakorlati megoldásoknál jobb hatékonysági mutatókkal rendelkező gyűjtőjáratok kialakítására adódott lehetőségem. Térinformatikai platform felhasználásával olyan hulladékgyűjtő rendszer - tervező alkalmazást készítettem, amely

- képes bármely szolgáltatási területnek a különböző lakóépület-típusok szerinti felosztására,
- a területtípusokhoz különböző gyűjtési eljárásokat rendeltem és meghatároztam az azokat végrehajtó hulladékgyűjtő járatokat. Definiáltam a különböző gyűjtési módszert alkalmazó gyűjtőjáratok hatékonysági mutatóit. Kimutattam, hogy milyen összefüggés van ezen mutatók és a járatok jellege között.

3.2. Megállapítottam, hogy az úthálózat és a kiszolgálási célpontokon elhelyezkedő gyűjtőedény-térfogatok ismeretében különböző hatékonyságú gyűjtőrendszer-változatok alakíthatóak ki. Ezek között létezik olyan változat, amelynek a hatékonysága az összes többinél nagyobb.

3.3. Megvizsgáltam a különböző hulladékgyűjtő járat típusok járatterveinek érzékenységet a hulladékképződés ütemének (az egyes kiszolgálási célpontokon elhelyezett gyűjtőedények telítődésének) változására. Kidolgoztam a szezonális hatások figyelembe vételét lehetővé tevő hulladékgyűjtő rendszer - tervezési módszert.

6 Irodalomjegyzék

- [1] J.R. Bringhenti, E. Zandonade, W.M.R. Günther: **Selection and validation of indicators for programs selective collection evaluation with social inclusion**. Resources, Conservation and Recycling 2011. ELSEVIER, 2011
- [2] X. Delache, C. Lagarenne: **Households sorting behaviour**. D Almorza, CA Brebbia, D Sales & V Popov (eds) Waste Management and the Environment 2002. WIT Press, 2002.
- [3] Meggyesi Tamás: **A 20. század urbanisztikájának útvesszői** TERC könyvkiadó Budapest, 2005
- [4] S. Sahoo, S. Kim, B.I. Kim, B. Kraas, A. Popov, **Routing Optimization for Waste Management**. Interfaces Vol 35. 2005., INFORMS, 2005.
- [5] G. Tavares, Z. Zsigraiova, V. Semiao, M.G. Carvalho, **Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modeling**. Waste Management Vol. 29. 2009, ELSEVIER, 2009
- [6] O. Apaydin, M.T. Gonullu, **Route Optimization for solid waste collection: Trabzon Case Study** Global Nest Journal Vol 9., 2007 GLOBAL NEST 2007
- [7] T.C. Detofeno, Prof. M.T. Arns Steiner, **Optimizing routes for the collection of urban solid waste**: Case study for the city of Joinville, State of Santa Catarina, Iberoamerican Journal of Industrial Engineering Vol 2. 2010
- [8] Haigh, K. Z. , Shewchuk, J.R. and Veloso, M., **Exploiting Domain Geometry in Analogical Route Planning** Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence, No. 9, 1997
- [9] Szegedi Zoltán, Prezenszki József, **Logisztikamenedzsment**, Kossuth Kiadó, Budapest, 2003.
- [10] Vermes László, **Hulladékgazdálkodás, hulladékhasznosítás**, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2005
- [11] Vityi Andrea, **A szelektív hulladékgyűjtés humán vonatkozásainak vizsgálata**, PhD értekezés, Nyugat – Magyarországi Egyetem, 2006
- [12] Mosonyiné Ádám Gizella, **Inverz logisztikai láncok működése és optimalizálási szintjei**, EU Working Papers 1/2008

- [13] N.B. Chang, Y.T. Lin, **An analysis of recycling impacts on solid waste generation by time series intervention modeling**, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 19, 1997, ELSEVIER, 1997
- [14] S.O. Benitez, G. L. Olvera, R. A. Morelos, C. A. de Vega, **Mathematical modeling to predict residential solid waste generation**, Waste Management, Vol. 28, 2008, ELSEVIER, 2008
- [15] C. Garces, A. Lafuente, M. Pedraja, P. Rivera, **Urban Waste Recycling Behavior: Antecedents of Participation in a Selective Collection Program**, Environmental Management, Vol.30, 2002, Springer-Verlag, 2002
- [16] Bach, H., Mild, A., Natter, M., Weber, A., **Combining Socio-demographic and logistic factors to explain the generation and collection of waste paper**. Resources, Conservation and Recycling 2004, ELSEVIER, 2004
- [17] G. Meinel, **High Resoulution Analysis of Settlemet Structure on Base of Topographic Raster Maps – Method and Implementation**, ICCSA 2008, Springer – Verlag, 2008
- [18] Berke József, dr. Hegedűs Gy. Csaba, Kelemen Dezső, Szabó József, **Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai**, Pannon Agrártudományi Egyetem, 1996, PICTRON Kft. Budapest
- [19] J. A. Buttler **Designing Geodatabases for Transportation**, 2008 ESRI Press Book
- [20] Dr. Sárközi Ferenc **Térbeli adatok gyűjtése** BME http://www.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t30.htm
- [21] C. Garce S, Alberto L, Marta P. P, Rivera **Urban Waste Recycling Behavior: Antecedents of Participation in a Selective Collection Program** 2002 Zaragoza, Spain, 2002 Springer-Verlag
- [22] E.L. Franc, A, Senne, M.A, Pereira, L, Antonio, N, Lorena **A Decomposition Heuristic for the Maximal Covering Location Problem** Advances in Operations Research Volume 2010, Article ID 120756 Hindawi Publishing Corporation 2010
- [23] F, Glover, **Tabu search - Part I-II**, ORSA Journal on Computing 1-2. (1989-90) <http://www.metaheuristics.net/index.php?main=3&sub=35>
- [24] K. Czímber **Geoinformatika** - elektronikus jegyzet, 2001 <http://www.geo.u-szeged.hu/~joe/fotogrammetria/GeoInfo/geoinfo2.htm#TOC3>
- [25] A, Rovetta, F, Xiumin, F, Vicentini, Z, Minghua, A, Giusti, H, Qichang. **Early detection and evaluation of waste through sensorized containers for a collection monitoring application**. Waste Management, 29(12):2939 – 2949, 2009.

- [26] O. M, Johansson. The effect of dynamic scheduling and routing in a solid waste management system. *Waste Management*, 26(8):875 – 885, 2006.
- [27] J.M, Belenguer, E, Benavent, P, Lacomme, C, Prins. **Lower and upper bounds for the mixed capacitated arc routing problem**. *Computers & Operations Research*, Part Special Issue: Recent Algorithmic Advances for Arc Routing Problems 33(12):3363 – 3383, 2006.
- [28] G. Ulusoy, **The fleet size and mixed problem for the Capacitated Arc Routing Problem**, *European Journal of Operational Research*, 22, 1985, pp. 329-337.
- [29] P. Lacomme, C. Prins, W. Ramdane-Chérif, **A genetic algorithm for the Capacitated Arc Routing Problem and its extensions**, in E.J.W. Boers et al. (Eds.), *Applications of evolutionary computing*, *Lecture Notes in Computer Science* 2037, Springer, Berlin, 2001, pp. 473-483.
- [30] J.M. Belenguer, E. Benavent, **A cutting plane algorithm for the Capacitated Arc Routing Problem**, *Computers and Operations Research* 30(5), 2003, pp. 705-728.
- [31] P, Toth, D., Vigo.(editors) **The vehicle routing problem**. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), Philadelphia, PA, USA, 2001.
- [32] Szilágyi László, **Útmutató a differenciált szemétdíjról** – HuMuSz, 2009.
- [33] M, Dorigo, L.M, Gambardella, M, Birattari, A, Martinoli, R, Poli T, Stützle, **Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence**, Brussels, Springer Verlag, 2006.
- [34], [35] P. Bóday (szerkesztő) **Környezeti helyzetkép 2011**, KSH, 2011, <http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/pdf/kornyhelyzetkep11.pdf>
- [36] G, Woolery (CERREC project editor) **Benefits of reusing & recycling bulky waste WRAP, 2011**, http://cerrec.eu/files/2011_WRAP_Benefits_of_reusing_bulky_waste.pdf
- [37] W, McDonough, M, Braungart, **From Cradle to cradle** North Point Press, 2002
- [38] 2006/12/EC, 2008/98/EC direktíva a hulladékokról
- [39] Dr. Nagy Géza, Kovács Barnabás, Buruzs Adrienn, Dr. Torma András, Vagdalt László, Horváth László **Hulladékgazdálkodás** Pannon Egyetem - Környezetmérnöki Intézet 2011
- [40] I. Sívó, EU és hazai tapasztalatok a csomagolási hulladékok gyűjtéséről 2009 www.kvvm.hu/cimg/documents/Sivo_Imre_Az_ipar_elkotelezettsege_a_szelektiv_hulladekgyujtes_es_kezeles_mellett.ppt
- [41] 2012.évi CLXXXV. törvény a hulladékról, <http://www.kormany.hu/download/e/ad/b0000/20121201093922.pdf>
- [42] MISKOLC MEGYEI JOGÚ VÁROS HELYI HULLADÉKGAZDÁLKODÁSI TERVE 2010-2014, Miskolc, 2009

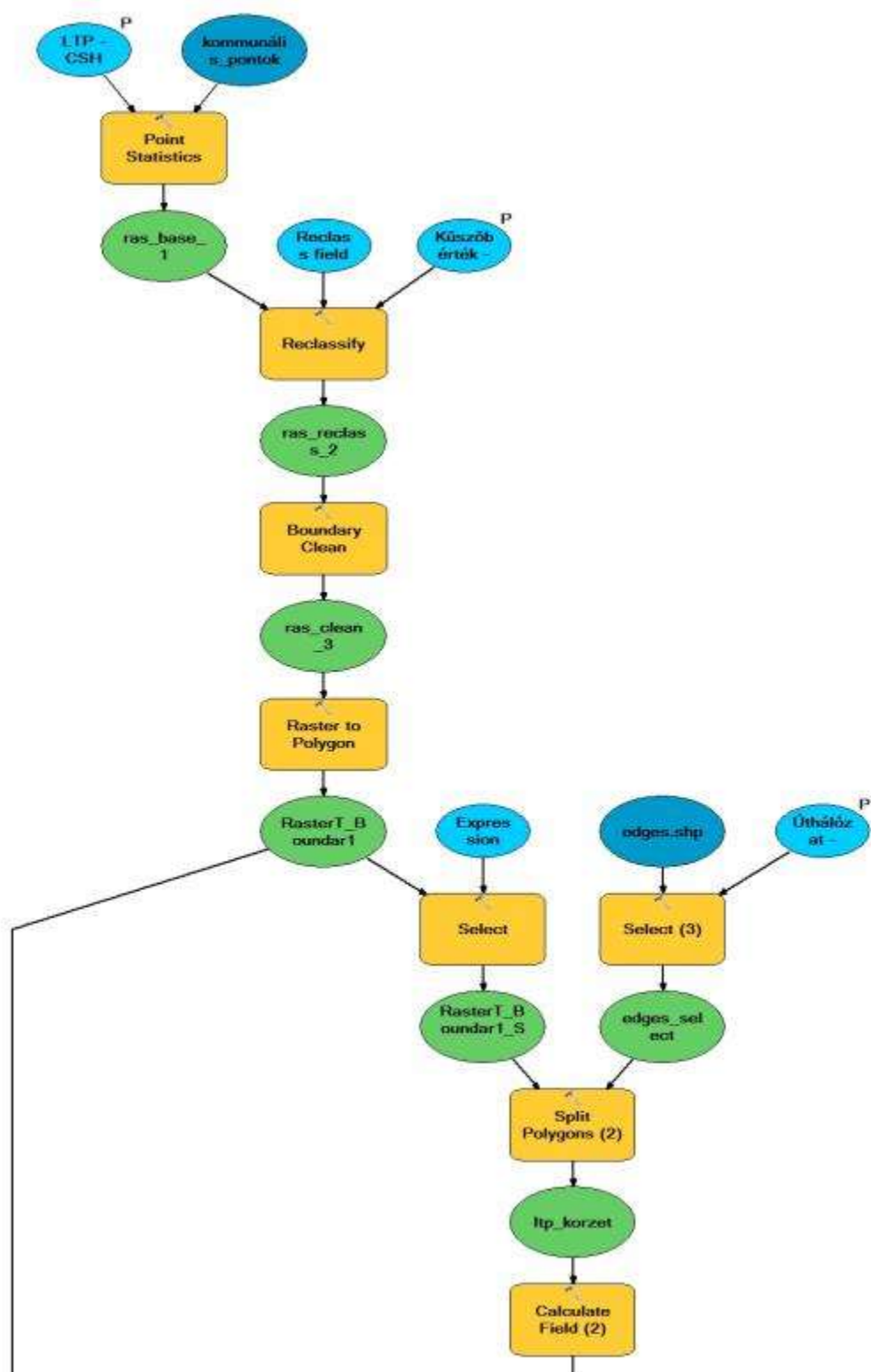
- [43] Országos Hulladékgazdálkodási Ügynökség, 2013. évre vonatkozó Országos Gyűjtési és Hasznosítási Terv www.kormany.hu/download/5/a2/.../OGYHT_v1%200%2002.pdf
- [44] 199/31/EC Council Directive on the landfilling of waste, 1999 http://www.central2013.eu/fileadmin/user_upload/Downloads/Document_Centre/OP_Resources/Landfill_Directive_1999_31_EC.pdf
- [45] Az EU Parlament és Tanács 94/62/EK irányelve a csomagolásról és a csomagolási hulladékokról, 1994 <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1994L0062:20090420:HU:PDF>
- [46] G. Tavares, Z. Zsigraiova, V. Semiao, M.G. Carvalho **Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling** Waste Management 29 (2009) 1176–1185 ELSEVIER 2009
- [47] Dr. Fazekas István, Orosz Zoltán **A települési szilárdhulladék-gazdálkodás jelenlegi helyzete és várható jövője Magyarországon** Településgazdálkodás-Környezetgazdálkodás, Debreceni Egyetem
- [48] E. Scheiber. **On the parallel version of the successive approximation method for quasilinear boundary value problems.** *J. Computational and Applied Mathematics*, 2, 1996, 335–343
- [49] Prof. J. Cselényi, Prof. B. Illés, **Logisztikai rendszerek I.** Miskolci Egyetemi Kiadó, 2004
- [50] P. Bauer, E. Földesi **Szezonális kiigazítás** KSH, Budapest, 2005, <http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/pdf/szezonkiig.pdf>
- [51] ESS Guidelines on Seasonal Adjustment, EUROSTAT, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2009
- [52] A.C, Elliott, W.A, Woodward Statistical Analysis Quick Reference Guidebook with SPSS Examples, Sage Publications Ltd., 2007
- [53] Dr. J Benkő, **Logisztikai Tervezés – Mezőgazdasági Alkalmazásokkal**, Dinasztia Kiadó, 2000
- [54] M. Gubán, **Késleltetett összeszerelő üzemek logisztika orientált telepítésére szolgáló matematikai modellek és módszerek fejlesztése globalizált termelés esetén**, Miskolci Egyetem 2003.
- [55] T. Bányai, B. Oláh, **Optimisation of permutation flowshop scheduling problem with genetic algorithm**, in: *Annals of the Oradea University. Proceedings of Annual Session of Scientific Papers. Management and Technological Engineering.* Oradea. 2002.

[56] L. Kota, **Hozzárendelési feladatok logisztikai ráfordítás alapján történő optimalizálása hálózatszerűen működő, műszaki felügyeletet és karbantartást ellátó rendszerekben**, Miskolci Egyetem, 2012.

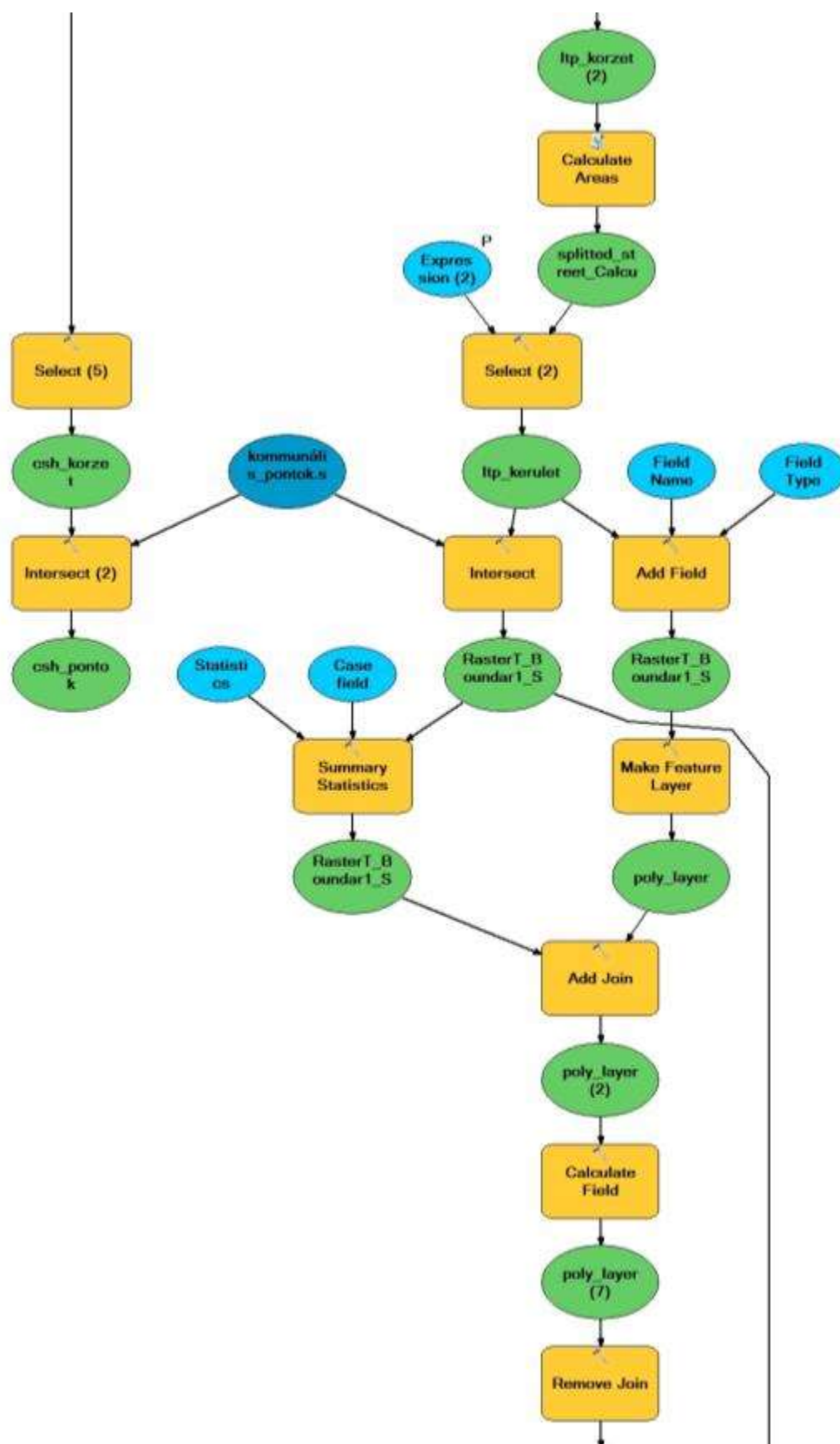
7 Mellékletek

***A modell felépítése a térinformatikai rendszer
fejlesztői környezetének (ModelBuilder) jelképeinek
alkalmazásával, valamint a metódusok python -
kódjai***

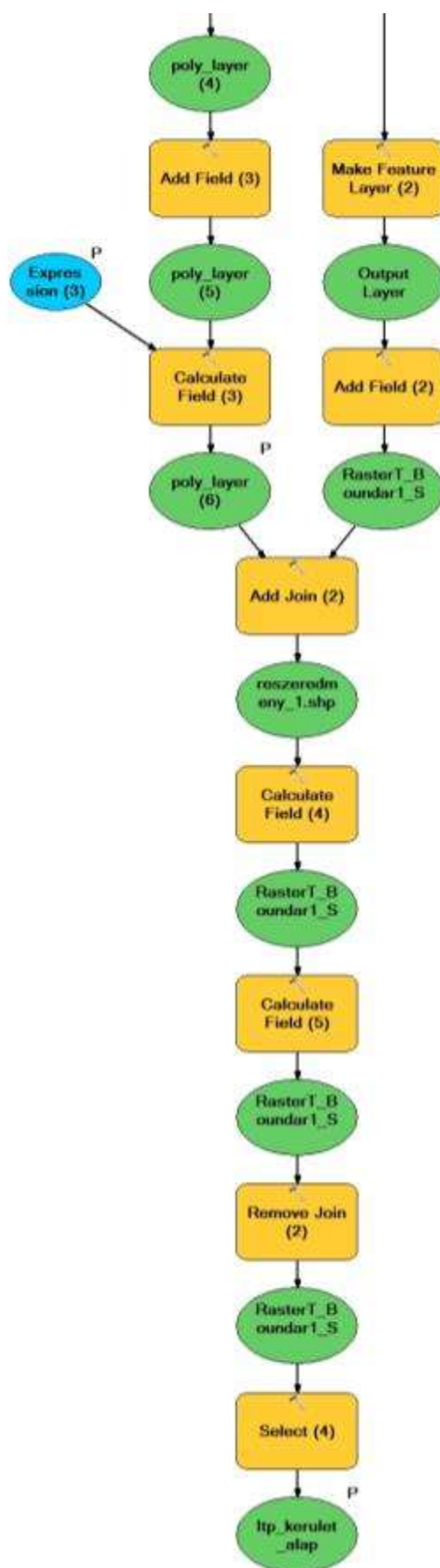
Területi elkülönítés (2. fázis)



7-1. ábra: A gyűjtőrendszer tervező térinformatikai modell 2. fázisának blokksémája (1)



7-2. ábra: A gyűjtőrendszer tervező térinformatikai modell 2. fázisának bloksémája (2)



7-3. ábra: A gyűjtőrendszer tervező térinformatikai modell 2. fázisának blokksémája (3)

A gyűjtőrendszer tervező térinformatikai modell 2. fázisának python kódja:

```
# -----
# 2.fázis.py Created on: 2012-09-03 21:25:02.00000 (generated by
# ArcGIS/ModelBuilder) Usage: 1.fázis <poly_layer__6_>
# <Küszöbérték_-_meghatározás> <LTP_-_CSH_Interpoláció_környezete>
# <Úthálózat_-_hierarchia> <ltip_kerulet_alap> <Expression__2_>
# <Expression__3_> Description: Csoportosítja a ltp-i kiszolgálási
# címpontokat a terület úthálózata szerint a nagyobb utcákat
# figyelembevételével. Meghatározza az egyes csoportokhoz hozzárendelni
# célszerű szigetszámokat is (((kommunális kuka
# liter/1000)*0.3)/10)+1) képlettel - feltételezi, hogy a kommunális
# mennyiség 30%-a szelektíven gyűjthető, 1m3=1000liter, és 1 sziget
# 10m3-es
# -----
# Import arcpy module
import arcpy

# Check out any necessary licenses
arcpy.CheckOutExtension("3D")
arcpy.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes
arcpy.ImportToolbox("c:/program files (x86)/DataEast/xtoolspro 9.0/Toolbox/XTools Pro.tbx")
# Set Geoprocessing environments
arcpy.env.scratchWorkspace = "C:\\Users\\Ladányi Richárd\\Documents\\ArcGIS\\Default.gdb"
arcpy.env.workspace = "D:\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb"
# Script arguments
poly_layer__6_ = arcpy.GetParameterAsText(0)
if poly_layer__6_ == '#' or not poly_layer__6_:
    poly_layer__6_ = "D:\\ric\\#saját\\PhD\\disszertáció\\modell\\2012\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb\\eredmény\\poly_layer" #
    provide a default value if unspecified
Küszöbérték_-_meghatározás = arcpy.GetParameterAsText(1)
if Küszöbérték_-_meghatározás == '#' or not Küszöbérték_-_meghatározás:
    Küszöbérték_-_meghatározás = "60 300 1;301 1100 2" # provide a default value if unspecified
LTP_-_CSH_Interpoláció_környezete = arcpy.GetParameterAsText(2)
if LTP_-_CSH_Interpoláció_környezete == '#' or not LTP_-_CSH_Interpoláció_környezete:
    LTP_-_CSH_Interpoláció_környezete = "Rectangle 153 153 MAP" # provide a default value if unspecified
Úthálózat_-_hierarchia = arcpy.GetParameterAsText(3)
if Úthálózat_-_hierarchia == '#' or not Úthálózat_-_hierarchia:
    Úthálózat_-_hierarchia = "\"EDGE_TYPE\" < 7" # provide a default value if unspecified
ltip_kerulet_alap = arcpy.GetParameterAsText(4)
if ltip_kerulet_alap == '#' or not ltip_kerulet_alap:
    ltip_kerulet_alap = "D:\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb\\eredmény\\ltip_kerulet_alap" # provide a default
    value if unspecified
Expression__2_ = arcpy.GetParameterAsText(5)
if Expression__2_ == '#' or not Expression__2_:
    Expression__2_ = "\"Shape_Area\" >100000" # provide a default value if unspecified
Expression__3_ = arcpy.GetParameterAsText(6)
if Expression__3_ == '#' or not Expression__3_:
    Expression__3_ = "([sum_térf]/10000)+1" # provide a default value if unspecified
# Local variables:
Reclass_field = "VALUE"
ras_reclass_2 = Küszöbérték_-_meghatározás
ras_clean_3 = ras_reclass_2
RasterT_Boundar1 = ras_clean_3
RasterT_Boundar1_Select = RasterT_Boundar1
ltip_korzet = RasterT_Boundar1_Select
ltip_korzet__2_ = ltip_korzet
splitted_street_CalculateAre = ltip_korzet__2_
```

```

ltp_kerulet = splitted_street_CalculateAre
RasterT_Boundar1_Select_Se1 = ltp_kerulet
RasterT_Boundar1_Select_Se2 = RasterT_Boundar1_Select_Se1
poly_layer__2_ = RasterT_Boundar1_Select_Se2
poly_layer__7_ = poly_layer__2_
poly_layer__4_ = poly_layer__7_
poly_layer__5_ = poly_layer__4_
Output_Layer = RasterT_Boundar1_Select_Se1
RasterT_Boundar1_Select_Se = Output_Layer
reszeredmeny_1_shp__2_ = RasterT_Boundar1_Select_Se
RasterT_Boundar1_Select_Se__3_ = reszeredmeny_1_shp__2_
RasterT_Boundar1_Select_Se__6_ = RasterT_Boundar1_Select_Se__3_
RasterT_Boundar1_Select_Se__4_ = RasterT_Boundar1_Select_Se__6_
RasterT_Boundar1_Select_Se__2_ = ltp_kerulet
poly_layer = RasterT_Boundar1_Select_Se__2_
csh_korzet = RasterT_Boundar1
csh_pontok = csh_korzet
Expression = "\"grid_code\" =2"
kommunális_pontok_shp__2_ = "D:\\modelbuilder\\kommunális adatbázis\\kommunális_pontok.shp"
Statistics_Field_s_ = "Térfogat__ SUM"
Case_field = "ID"
Field_Name = "sum_térf"
Field_Type = "DOUBLE"
edges_shp = "D:\\modelbuilder\\network\\edges.shp"
ras_base_1 = LTP_-_CSH_Interpoláció_környezete
edges_select = Úthálózat_-_hierarchia
kommunális_pontok = "D:\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb\\alapadatok\\kommunális_pontok"
# Process: Point Statistics
arcpy.PointStatistics_sa(kommunális_pontok, "Térfogat__", ras_base_1, "51,9379971999973", LTP_-_
_CSH_Interpoláció_környezete, "MEAN")
# Process: Reclassify
arcpy.Reclassify_3d(ras_base_1, Reclass_field, Küszöbérték_-_meghatározás, ras_reclass_2, "DATA")
# Process: Boundary Clean
arcpy.BoundaryClean_sa(ras_reclass_2, ras_clean_3, "NO_SORT", "TWO_WAY")
# Process: Raster to Polygon
arcpy.RasterToPolygon_conversion(ras_clean_3, RasterT_Boundar1, "SIMPLIFY", "VALUE")
# Process: Select
arcpy.Select_analysis(RasterT_Boundar1, RasterT_Boundar1_Select, Expression)
# Process: Select (3)
arcpy.Select_analysis(edges_shp, edges_select, Úthálózat_-_hierarchia)
# Process: Split Polygons (2)
arcpy.toolbox = "c:/program files (x86)/DataEast/xtoolspro 9.0/Toolbox/XTools Pro.tbx";
# Warning: the toolbox c:/program files (x86)/DataEast/xtoolspro 9.0/Toolbox/XTools Pro.tbx DOES NOT have an alias.
# Please assign this toolbox an alias to avoid tool name collisions
# And replace arcpy.XToolsPro_SplitPolygons(...) with arcpy.XToolsPro_SplitPolygons_ALIAS(...)
arcpy.XToolsPro_SplitPolygons(RasterT_Boundar1_Select, ltp_korzet, "Split polygons by feature layer", edges_select, "",
"false", "")
# Process: Calculate Field (2)
arcpy.CalculateField_management(ltp_korzet, "ID", "[OBJECTID]", "VB", "")
# Process: Calculate Areas
arcpy.CalculateAreas_stats(ltp_korzet__2_, splitted_street_CalculateAre)
# Process: Select (2)
arcpy.Select_analysis(splitted_street_CalculateAre, ltp_kerulet, Expression__2_)
# Process: Intersect
arcpy.Intersect_analysis("'D:\\modelbuilder\\kommunális adatbázis\\kommunális_pontok.shp'
#;D:\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb\\eredmeny\\ltp_kerulet #", RasterT_Boundar1_Select_Se1, "ALL",
"", "INPUT")
# Process: Make Feature Layer (2)

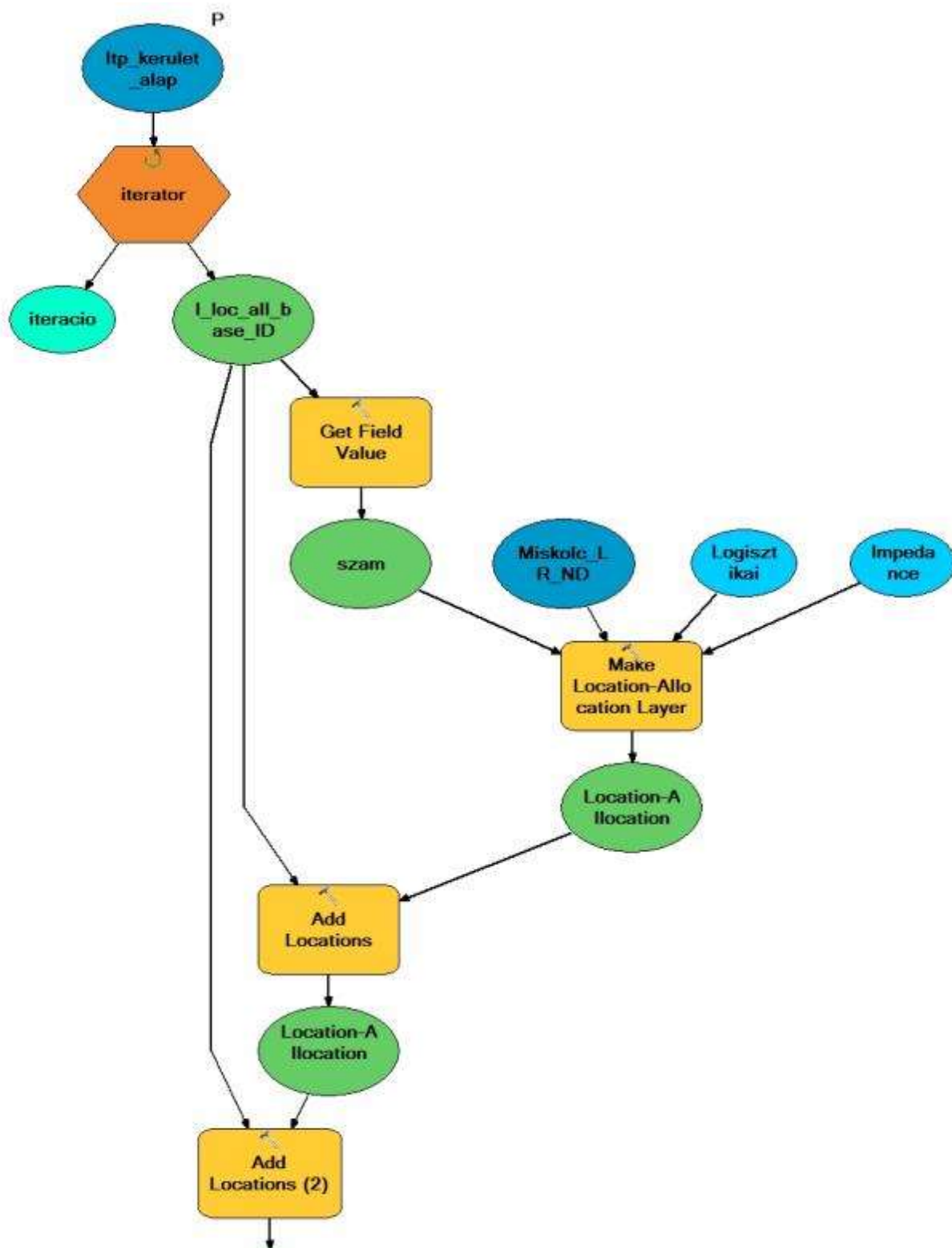
```

```

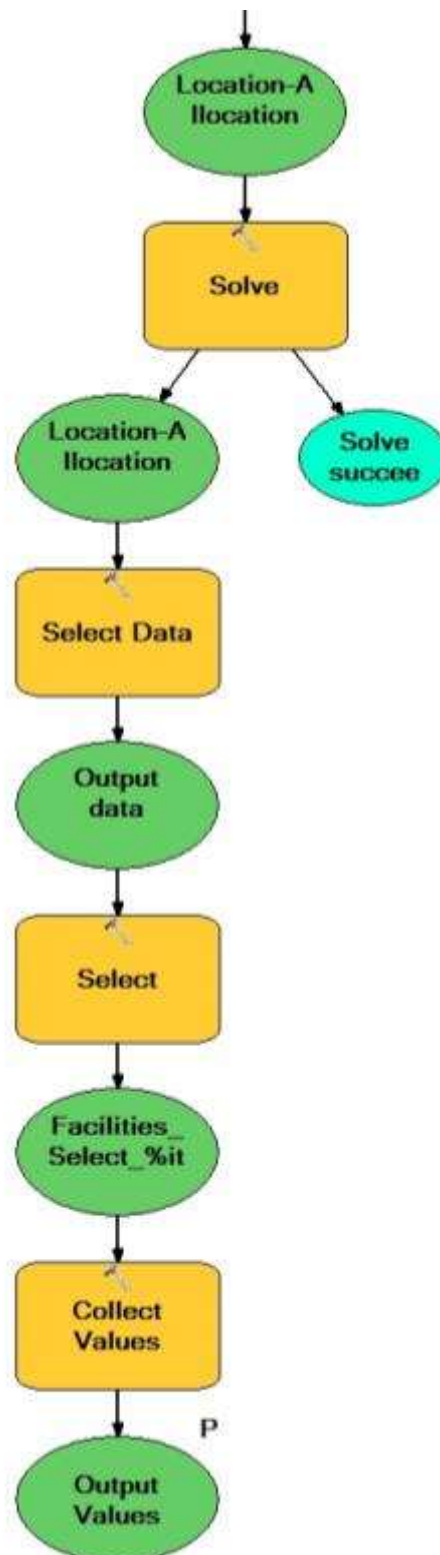
arcpy.MakeFeatureLayer_management(RasterT_Boundar1_Select_Se1, Output_Layer, "", "", "OBJECTID OBJECTID
VISIBLE NONE;FID_kommunális_pontok FID_kommunális_pontok VISIBLE NONE;Shape Shape VISIBLE NONE;Azonosítás
Azonosítás VISIBLE NONE;AVE_ZIP AVE_ZIP VISIBLE NONE;AVE_Helysége AVE_Helysége VISIBLE NONE;AVE_Utca
AVE_Utca VISIBLE NONE;Count Count VISIBLE NONE;SAP_azonos SAP_azonos VISIBLE NONE;Vevő_AVE Vevő_AVE
VISIBLE NONE;ZIP ZIP VISIBLE NONE;Térfo gat_ Térfo gat_ VISIBLE NONE;ADDR ADDR VISIBLE NONE;Közt_ Jell
Közt_ Jell VISIBLE NONE;X X VISIBLE NONE;Y Y VISIBLE NONE;F14 F14 VISIBLE NONE;F15 F15 VISIBLE
NONE;FID_ltp_kerulet FID_ltp_kerulet VISIBLE NONE;Shape_Length Shape_Length VISIBLE NONE;Shape_Area Shape_Area
VISIBLE NONE;ID ID VISIBLE NONE;GRIDCODE GRIDCODE VISIBLE NONE;Shape_length_1 Shape_length_1 VISIBLE
NONE;Shape_area_1 Shape_area_1 VISIBLE NONE;SHAPE_length_12 SHAPE_length_12 VISIBLE NONE;SHAPE_area_12
SHAPE_area_12 VISIBLE NONE;F_AREA F_AREA VISIBLE NONE;SHAPE_length_12_13 SHAPE_length_12_13 VISIBLE
NONE;SHAPE_area_12_13 SHAPE_area_12_13 VISIBLE NONE")
# Process: Add Field (2)
arcpy.AddField_management(Output_Layer, "szig_szam", "SHORT", "", "", "", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Process: Add Field
arcpy.AddField_management(ltp_kerulet, Field_Name, Field_Type, "", "", "", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Process: Make Feature Layer
arcpy.MakeFeatureLayer_management(RasterT_Boundar1_Select_Se2, poly_layer, "", "", "OBJECTID OBJECTID
VISIBLE NONE;SHAPE SHAPE VISIBLE NONE;Shape_Length Shape_Length VISIBLE NONE;Shape_Area Shape_Area
VISIBLE NONE;ID ID VISIBLE NONE;GRIDCODE GRIDCODE VISIBLE NONE;Shape_length_1 Shape_length_1 VISIBLE
NONE;Shape_area_1 Shape_area_1 VISIBLE NONE;SHAPE_length_12 SHAPE_length_12 VISIBLE NONE;SHAPE_area_12
SHAPE_area_12 VISIBLE NONE;F_AREA F_AREA VISIBLE NONE;SHAPE_length SHAPE_length VISIBLE
NONE;SHAPE_area SHAPE_area VISIBLE NONE;sum_térfo gat sum_térfo gat VISIBLE NONE")
# Process: Summary Statistics
arcpy.Statistics_analysis(RasterT_Boundar1_Select_Se1, RasterT_Boundar1_Select_Se2, Statistics_Field_s, Case_field)
# Process: Add Join
arcpy.AddJoin_management(poly_layer, "ID", RasterT_Boundar1_Select_Se2, "ID", "KEEP_ALL")
# Process: Calculate Field
arcpy.CalculateField_management(poly_layer_2, "sum_térfo", "[RasterT_Boundar1_Select_Se2:SUM_TÉRFOGAT]*0.3",
"VB", "")
# Process: Remove Join
arcpy.RemoveJoin_management(poly_layer_7, "RasterT_Boundar1_Select_Se2")
# Process: Add Field (3)
arcpy.AddField_management(poly_layer_4, "szigetszam", "SHORT", "", "", "", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
# Process: Calculate Field (3)
arcpy.CalculateField_management(poly_layer_5, "szigetszam", Expression_3, "VB", "")
# Process: Add Join (2)
arcpy.AddJoin_management(RasterT_Boundar1_Select_Se1, "ID", poly_layer_6, "ID", "KEEP_ALL")
# Process: Calculate Field (4)
arcpy.CalculateField_management(reszeredmeny_1_shp_2, "szig_szam", "[ltp_kerulet.szigetszam]", "VB", "")
# Process: Calculate Field (5)
arcpy.CalculateField_management(RasterT_Boundar1_Select_Se3, "RasterT_Boundar1_Select_Se1.Térfo gat",
"[RasterT_Boundar1_Select_Se1.Térfo gat]*0.3", "VB", "")
# Process: Remove Join (2)
arcpy.RemoveJoin_management(RasterT_Boundar1_Select_Se6, "")
# Process: Select (4)
arcpy.Select_analysis(RasterT_Boundar1_Select_Se4, ltp_kerulet_alap, "")
# Process: Select (5)
arcpy.Select_analysis(RasterT_Boundar1, csh_korzet, "\"grid_code\"=1")
# Process: Intersect (2)
arcpy.Intersect_analysis("D:\modelbuilder\kommunális adatbázis\kommunális_pontok.shp",
"D:\modelbuilder\fejlesztés\sel_collection_LR_PhD.gdb\eredmeny\lcs_h_korzet", csh_pontok, "ALL", "", "INPUT")

```

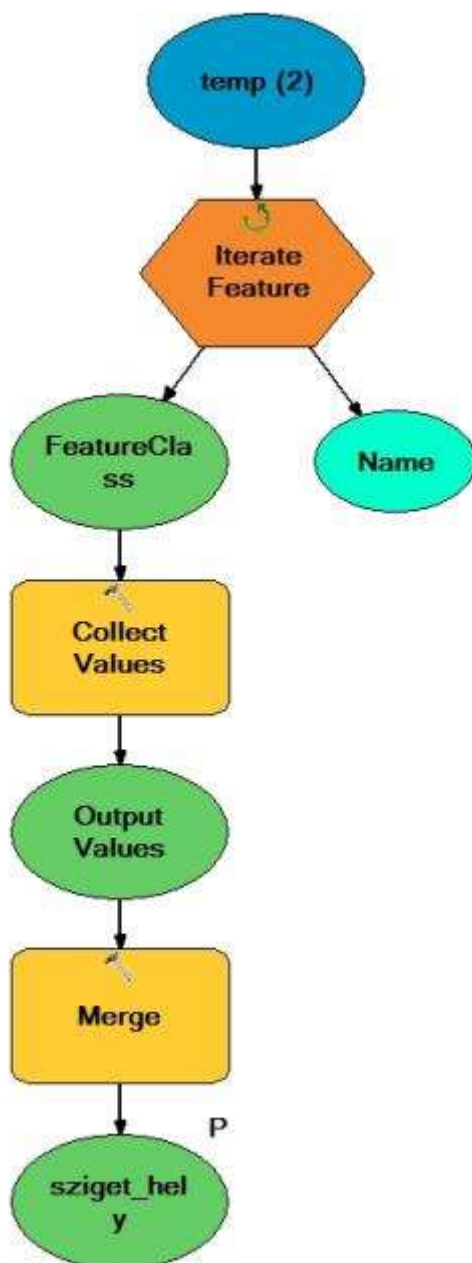
Szigetelhelyezés (3. fázis)



7-4. ábra: A gyűjtőrendszer tervező térinformatikai modell 3. fázisának bloksémája (1)



7-5. ábra: A gyűjtőrendszer tervező térinformatikai modell 3. fázisának blokksémája (2)



7-6. ábra: A gyűjtőrendszer tervező térinformatikai modell 3. fázisának bloksémája (3)

A gyűjtőrendszer tervező térinformatikai modell 3. fázisának python kódja:

```
# -----
#3.1.fázis.py
# Created on: 2012-09-03 21:32:38.00000
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: 2.fázis <Output_Values> <ltp_kerulet_alap>
# Description:
# -----

# Import arcpy module
import arcpy

# Check out any necessary licenses
arcpy.CheckOutExtension("Network")

# Load required toolboxes
arcpy.ImportToolbox("Model Functions")

# Script arguments
Output_Values = arcpy.GetParameterAsText(0)
if Output_Values == '#' or not Output_Values:
    Output_Values = "D:\modelbuilder\fejlesztes\sel_collection_LR_PhD.gdb\temp\Facilities_Select_1" # provide a default
    value if unspecified

ltp_kerulet_alap = arcpy.GetParameterAsText(1)
if ltp_kerulet_alap == '#' or not ltp_kerulet_alap:
    ltp_kerulet_alap = "D:\modelbuilder\fejlesztes\sel_collection_LR_PhD.gdb\eredmeny\ltp_kerulet_alap" # provide a default
    value if unspecified

# Local variables:
Miskolc_LR_ND = "D:\modelbuilder\network\Miskolc_LR.mdb\Miskolc_LR\Miskolc_LR_ND"
Logisztikai_munka_minimalizálás = "MINIMIZE_IMPEDANCE"
Impedance_parameter = "1"
l_loc_all_base_ID = ltp_kerulet_alap
Location-Allocation__2_ = l_loc_all_base_ID
Location-Allocation__3_ = Location-Allocation__2_
Location-Allocation__6_ = Location-Allocation__3_
Output_data_element = Location-Allocation__6_
Facilities_Select__iteracio_ = Output_data_element
Solve_succeeded = Location-Allocation__3_
szam = l_loc_all_base_ID
Location-Allocation = szam
iteracio = ltp_kerulet_alap

# Process: iterator
arcpy.IterateFeatureSelection_mb(ltp_kerulet_alap, "ID 0", "true")

# Process: Get Field Value
arcpy.GetFieldValue_mb(l_loc_all_base_ID, "szig_szam", "Long", "0")

# Process: Make Location-Allocation Layer
```

```
arcpy.MakeLocationAllocationLayer_na(Miskolc_LR_ND, "Location-Allocation", "tav[m]", "DEMAND_TO_FACILITY",
Logisztikai_munka_minimalizálás, szám, "", "LINEAR", Impedance_parameter, "10", "", "ALLOW_UTURNS", "",
"NO_HIERARCHY", "NO_LINES", "1", "")
```

```
# Process: Add Locations
```

```
arcpy.AddLocations_na(Location-Allocation, "Facilities", I_loc_all_base_ID, "Name # #;FacilityType # 0;Weight #
1;CurbApproach # 0", "5000 Meters", "", "edges SHAPE;Miskolc_LR_ND_Junctions NONE", "MATCH_TO_CLOSEST",
"APPEND", "NO_SNAP", "5 Meters", "INCLUDE", "edges #;Miskolc_LR_ND_Junctions #")
```

```
# Process: Add Locations (2)
```

```
arcpy.AddLocations_na(Location-Allocation__2_, "Demand Points", I_loc_all_base_ID, "Name # #;Weight Térfogat__
1;GroupName # #;ImpedanceTransformation # #;ImpedanceParameter # #;CurbApproach # 0;Cutoff_ido[min] # #;Cutoff_tav[m]
# #", "5000 Meters", "", "edges SHAPE;Miskolc_LR_ND_Junctions NONE", "MATCH_TO_CLOSEST", "APPEND", "NO_SNAP",
"5 Meters", "INCLUDE", "edges #;Miskolc_LR_ND_Junctions #")
```

```
# Process: Solve
```

```
arcpy.Solve_na(Location-Allocation__3_, "SKIP", "TERMINATE", "")
```

```
# Process: Select Data
```

```
arcpy.SelectData_management(Location-Allocation__6_, "Facilities")
```

```
# Process: Select
```

```
arcpy.Select_analysis(Output_data_element, Facilities_Select__iteracio_, "\"FacilityType\"=3")
```

```
# Process: Collect Values
```

```
arcpy.CollectValues_mb("D:\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb\\temp\\Facilities_Select_%iteracio%")
```

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
# -----
```

```
# 3.2.fázis.py
```

```
# Created on: 2012-09-03 21:33:15.00000
```

```
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
```

```
# Usage: 3.fázis <sziget_hely>
```

```
# Description:
```

```
# -----
```

```
# Import arcpy module
```

```
import arcpy
```

```
# Load required toolboxes
```

```
arcpy.ImportToolbox("Model Functions")
```

```
# Set Geoprocessing environments
```

```
arcpy.env.scratchWorkspace = "D:\\ric\\#saját\\PhD\\disszertáció\\modell\\2012\\modelbuilder\\scratch"
```

```
arcpy.env.workspace = "D:\\ric\\#saját\\PhD\\disszertáció\\modell\\2012\\modelbuilder\\loc_alloc_model"
```

```
# Script arguments
```

```
sziget_hely = arcpy.GetParameterAsText(0)
```

```
if sziget_hely == '#' or not sziget_hely:
```

```
    sziget_hely =
"D:\\ric\\#saját\\PhD\\disszertáció\\modell\\2012\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb\\eredmeny\\sziget_hely" #
provide a default value if unspecified
```

```
# Local variables:
```

```
temp__2_ = "D:\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb\\temp"
```

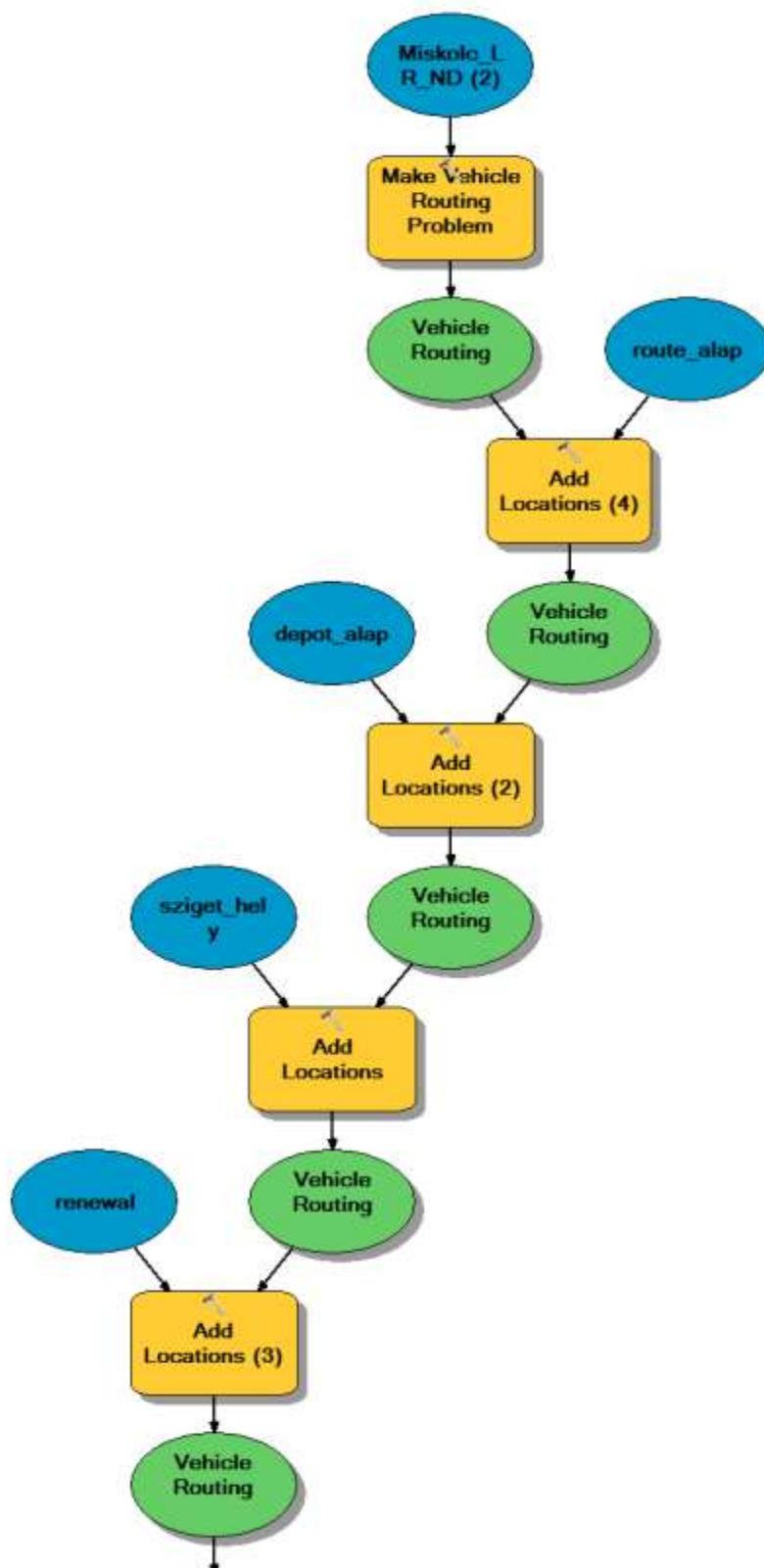
```
Output_Values = "D:\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb\\temp\\FeatureClass"
```

```
# Process: Iterate Feature Classes
```

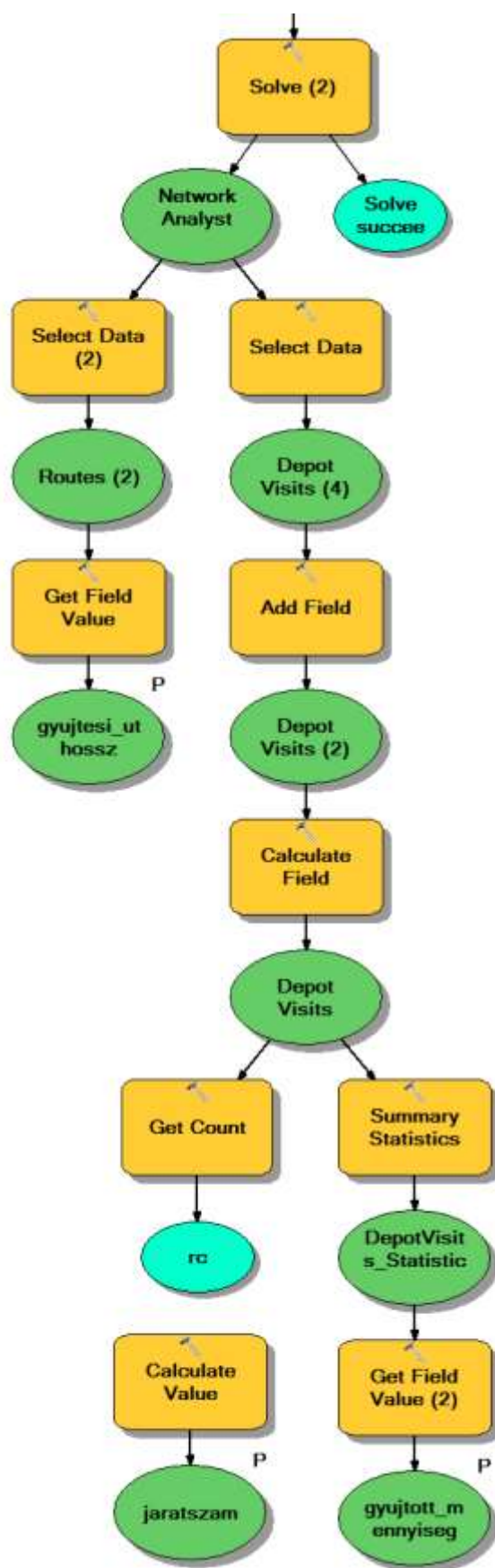
```
arcpy.IterateFeatureClasses_mb(temp__2_, "", "POINT", "NOT_RECURSIVE")
```

```
# Process: Collect Values
```

Járattervezés (4. fázis)



7-7. ábra: A gyűjtőrendszer tervező térinformatikai modell 4. fázisának blokk-sémája (1)



7-8. ábra: A gyűjtőrendszer tervező térinformatikai modell 4. fázisának bloksémája (2)

A gyűjtőrendszer tervező térinformatikai modell 4. fázisának python kódja:

```
# -----
# 4.fázis.py
# Created on: 2012-09-03 21:33:41.00000
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: 4.fázis <gyujtesi_uthossz> <gyujtott_mennyiseg> <jaratszam>
# Description:
# -----

# Import arcpy module
import arcpy

# Check out any necessary licenses
arcpy.CheckOutExtension("Network")

# Load required toolboxes
arcpy.ImportToolbox("Model Functions")

# Set Geoprocessing environments
arcpy.env.scratchWorkspace = "D:\\ric\\#saját\\PhD\\disszertáció\\modell\\2012\\modelbuilder\\scratch"
arcpy.env.workspace = "D:\\ric\\#saját\\PhD\\disszertáció\\modell\\2012\\modelbuilder\\VRP"

# Script arguments
gyujtesi_uthossz = arcpy.GetParameterAsText(0)
if gyujtesi_uthossz == '#' or not gyujtesi_uthossz:
    gyujtesi_uthossz = "296038,465474747" # provide a default value if unspecified
gyujtott_mennyiseg = arcpy.GetParameterAsText(1)
if gyujtott_mennyiseg == '#' or not gyujtott_mennyiseg:
    gyujtott_mennyiseg = "2137610" # provide a default value if unspecified
jaratszam = arcpy.GetParameterAsText(2)
if jaratszam == '#' or not jaratszam:
    jaratszam = "22" # provide a default value if unspecified

# Local variables:
sziget_hely = "D:\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb\\eredmeny\\sziget_hely"
depot_alap = "D:\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb\\alapadatok\\depot_alap"
route_alap = "D:\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb\\alapadatok\\route_alap"
renewal = "D:\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb\\renewal"
Miskolc_LR_ND__2_ = "D:\\network\\network\\Miskolc_LR.mdb\\Miskolc_LR\\Miskolc_LR_ND"
Vehicle_Routing_Problem__5_ = "Vehicle Routing Problem"
Vehicle_Routing_Problem__7_ = "Vehicle Routing Problem"
Vehicle_Routing_Problem = "Vehicle Routing Problem"
Vehicle_Routing_Problem__3_ = "Vehicle Routing Problem"
Vehicle_Routing_Problem__2_ = "Vehicle Routing Problem"
Routes__2_ = "Vehicle Routing Problem\\Routes"
Depot_Visits = "Vehicle Routing Problem\\Depot Visits"
DepotVisits_Statistics_dbf = "D:\\modelbuilder\\fejlesztés\\DepotVisits_Statistics.dbf"
Depot_Visits__4_ = "Vehicle Routing Problem\\Depot Visits"
```

```
Depot_Visits__2_ = "Vehicle Routing Problem\\Depot Visits"
```

```
Network_Analyst_Layer = "Vehicle Routing Problem"
```

```
# Process: Make Vehicle Routing Problem Layer
```

```
arcpy.MakeVehicleRoutingProblemLayer_na(Miskolc_LR_ND__2_, "Vehicle Routing Problem", "ido[min]", "tav[m]", "Minutes", "Meters", "", "1", "Medium", "Medium", "ALLOW_UTURNS", "", "NO_HIERARCHY", "", "TRUE_LINES_WITH_MEASURES")
```

```
# Process: Add Locations (4)
```

```
arcpy.AddLocations_na(Vehicle_Routing_Problem, "Routes", route_alap, "Name Name #;StartDepotName StartDepot #;Capacities Capacities #;FixedCost FixedCost #;Description # #;EndDepotName EndDepotNa #;StartDepotServiceTime # #;EndDepotServiceTime # #;EarliestStartTime # 8:00:00;LatestStartTime # 10:00:00;ArriveDepartDelay # #;CostPerUnitTime # 1;CostPerUnitDistance # #;OvertimeStartTime # #;CostPerUnitOvertime # #;MaxOrderCount # 300;MaxTotalTime # #;MaxTotalTravelTime # #;MaxTotalDistance # #;SpecialtyNames # #;AssignmentRule # 1", "5000 Meters", "", "edges SHAPE;Miskolc_LR_ND_Junctions NONE", "MATCH_TO_CLOSEST", "CLEAR", "NO_SNAP", "5 Meters", "INCLUDE", "edges #;Miskolc_LR_ND_Junctions #")
```

```
# Process: Add Locations (2)
```

```
arcpy.AddLocations_na(Vehicle_Routing_Problem__7_, "Depots", depot_alap, "Name Name #;Description # #;TimeWindowStart1 # #;TimeWindowEnd1 # #;TimeWindowStart2 # #;TimeWindowEnd2 # #;CurbApproach # 0", "5000 Meters", "", "edges SHAPE;Miskolc_LR_ND_Junctions NONE", "MATCH_TO_CLOSEST", "APPEND", "NO_SNAP", "5 Meters", "INCLUDE", "edges #;Miskolc_LR_ND_Junctions #")
```

```
# Process: Add Locations
```

```
arcpy.AddLocations_na(Vehicle_Routing_Problem__5_, "Orders", sziget_hely, "Name OBJECTID #;Description # #;ServiceTime # #;TimeWindowStart1 # #;TimeWindowEnd1 # #;TimeWindowStart2 # #;TimeWindowEnd2 # #;MaxViolationTime1 # #;MaxViolationTime2 # #;DeliveryQuantities # #;PickupQuantities DemandWeight 1;Revenue # #;SpecialtyNames # #;AssignmentRule # 3;RouteName # #;Sequence # #;CurbApproach # 0", "5000 Meters", "", "edges SHAPE;Miskolc_LR_ND_Junctions NONE", "MATCH_TO_CLOSEST", "APPEND", "NO_SNAP", "5 Meters", "INCLUDE", "edges #;Miskolc_LR_ND_Junctions #")
```

```
# Process: Add Locations (3)
```

```
arcpy.AddLocations_na(Vehicle_Routing_Problem__3_, "Route Renewals", renewal, "RouteName RouteName #;DepotName DepotName #;Sequences Sequences #;ServiceTime ServiceTim #", "5000 Meters", "", "edges SHAPE;Miskolc_LR_ND_Junctions NONE", "MATCH_TO_CLOSEST", "CLEAR", "NO_SNAP", "5 Meters", "INCLUDE", "edges #;Miskolc_LR_ND_Junctions #")
```

```
# Process: Solve (2)
```

```
arcpy.Solve_na(Vehicle_Routing_Problem__2_, "HALT", "TERMINATE", "")
```

```
# Process: Select Data (2)
```

```
arcpy.SelectData_management(Network_Analyst_Layer, "Routes")
```

```
# Process: Get Field Value
```

```
arcpy.GetFieldValue_mb(Routes__2_, "TotalDistance", "Double", "0")
```

```
# Process: Select Data
```

```
arcpy.SelectData_management(Network_Analyst_Layer, "Depot Visits")
```

```
# Process: Add Field
```

```
arcpy.AddField_management(Depot_Visits__4_, "mennysiseg", "LONG", "", "", "", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
```

```
# Process: Calculate Field
```

```
arcpy.CalculateField_management(Depot_Visits__2_, "mennysiseg", "[TotalUnloadedQuantities]", "VB", "")
```

```
# Process: Summary Statistics
```

```
arcpy.Statistics_analysis(Depot_Visits, DepotVisits_Statistics_dbf, "mennysiseg SUM", "")
```

```
# Process: Get Field Value (2)
```

```
arcpy.GetFieldValue_mb(DepotVisits_Statistics_dbf, "SUM_mennnyi", "Double", "0")
```

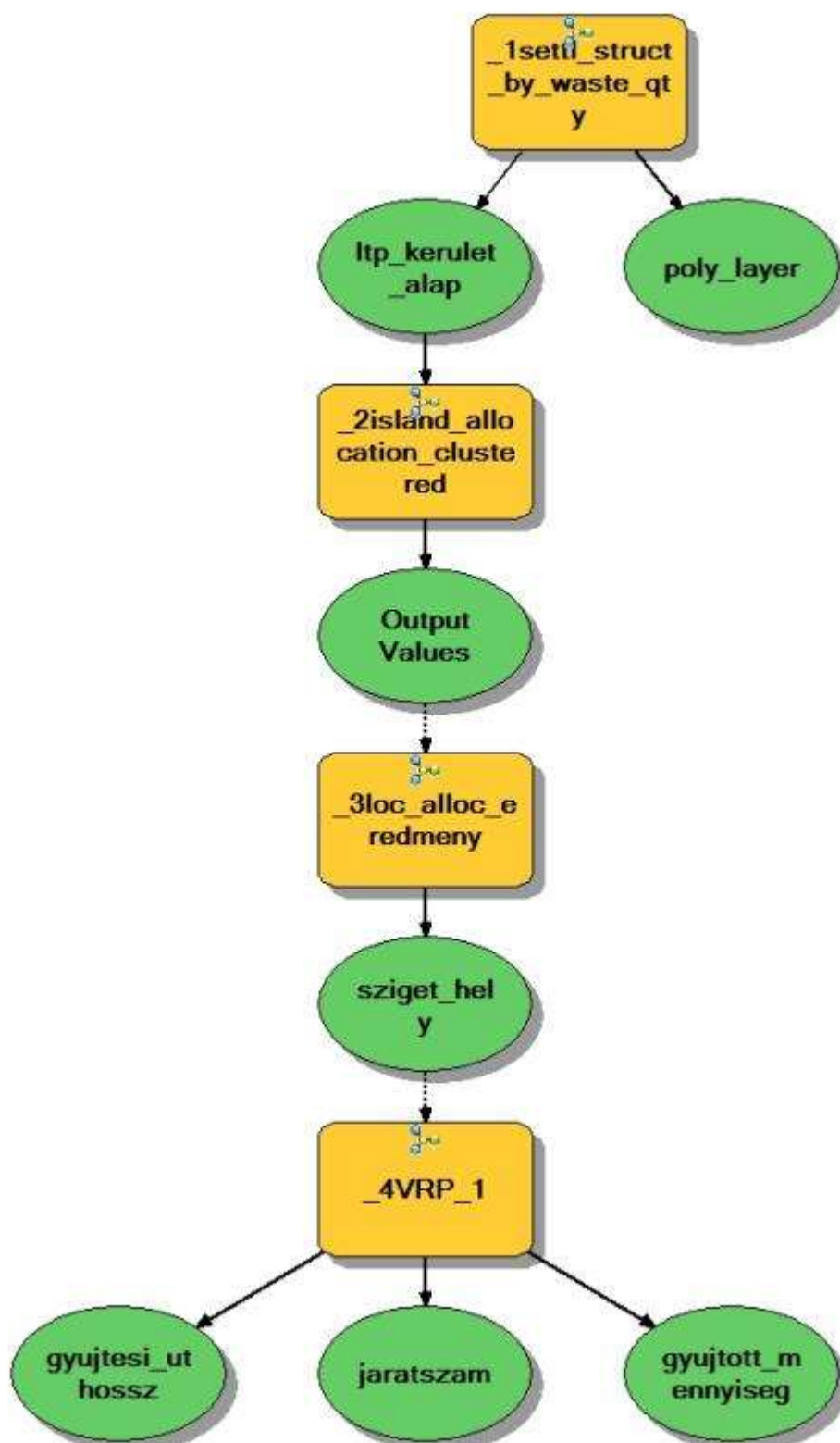
```
# Process: Get Count
```

```
arcpy.GetCount_management(Depot_Visits)
```

```
# Process: Calculate Value
```

```
arcpy.CalculateValue_management("%rc%-2", "", "Variant")
```

Az iteráció algoritmusa



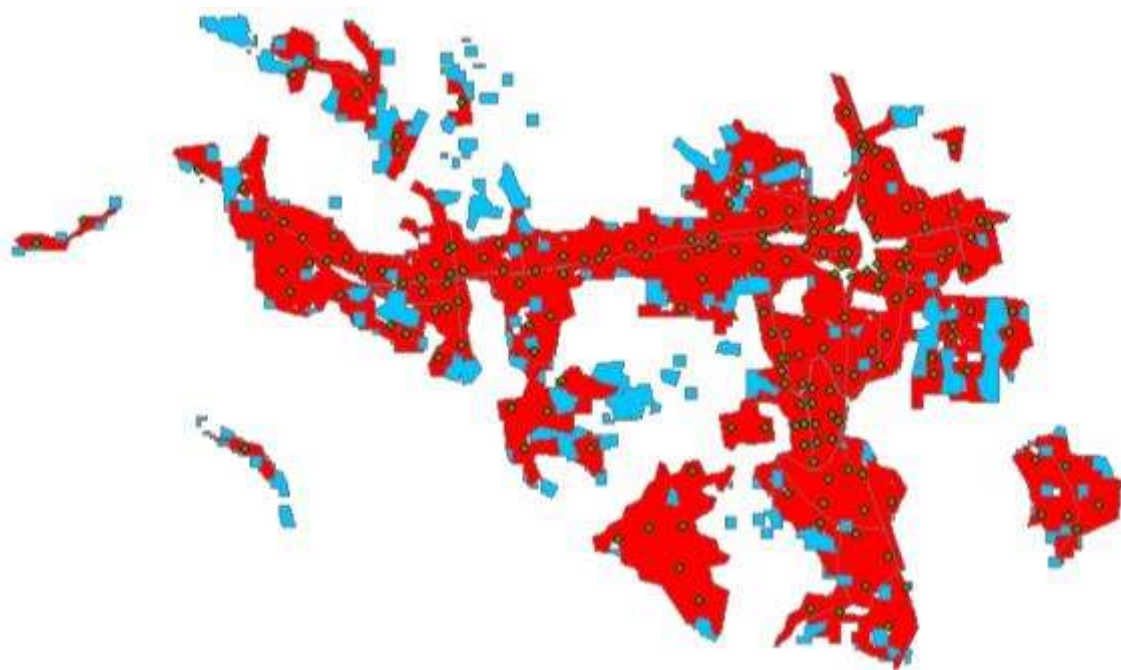
7-9. ábra: A gyűjtőrendszer tervező térinformatikai modell során alkalmazott iteráció blokksémája

A gyűjtőrendszer tervező térinformatikai modell során alkalmazott iteráció python kódja:

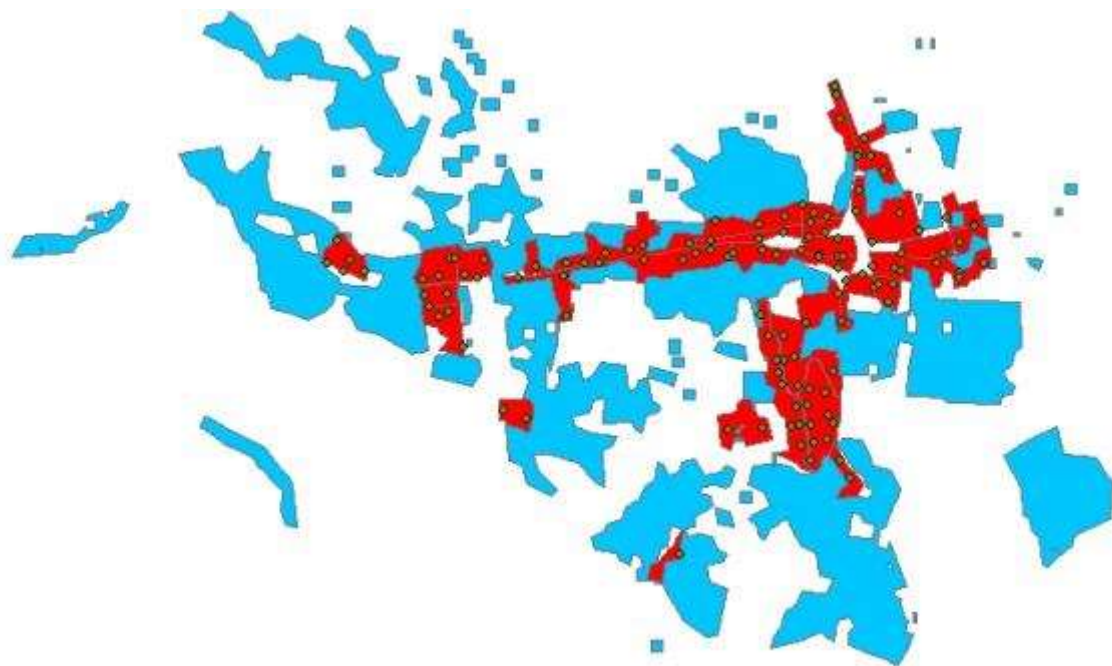
```
# -----
# iteracio.py
# Created on: 2012-09-03 21:34:53.00000
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Description:
# -----
# Import arcpy module
import arcpy
# Check out any necessary licenses
arcpy.CheckOutExtension("Network")
arcpy.CheckOutExtension("3D")
arcpy.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes
arcpy.ImportToolbox("D:/ric/PhD/disszertáció/modell/2012/modelbuilder/fejlesztés/sel_collection_LR_PhD.gdb/szimulacio")
# Local variables:
ltp_kerulet_alap = "D:\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb\\eredmény\\ltp_kerulet_alap"
sziget_hely = "D:\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb\\eredmény\\sziget_hely"
poly_layer = "D:\\ric\\#saját\\PhD\\disszertáció\\modell\\2012\\modelbuilder\\fejlesztés\\sel_collection_LR_PhD.gdb\\eredmény\\poly_layer" =
# Process: _1settl_struct_by_waste_qty
arcpy.gp.toolbox = "D:/ric/PhD/disszertáció/modell/2012/modelbuilder/fejlesztés/sel_collection_LR_PhD.gdb/szimulacio";
```


Iterációval meghatározott területi felosztások

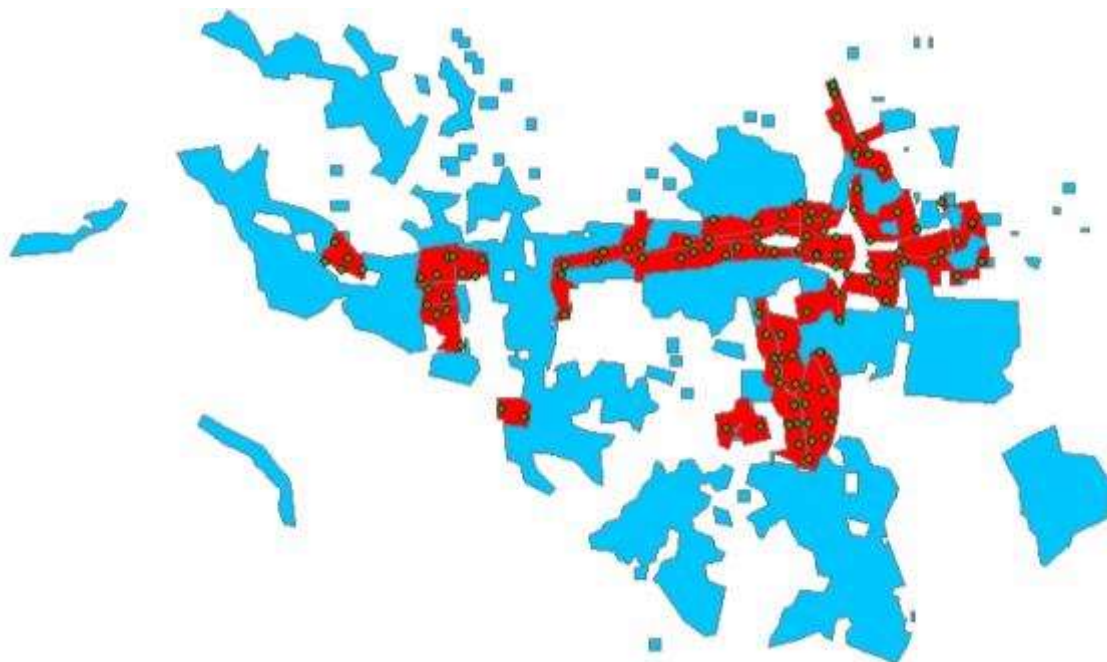
Az ábrák pirossal jelzik a társasházak-, kékkel a családi házas területeket. A gyűjtőszigetek elhelyezkedését a zöld pöttyök mutatják.



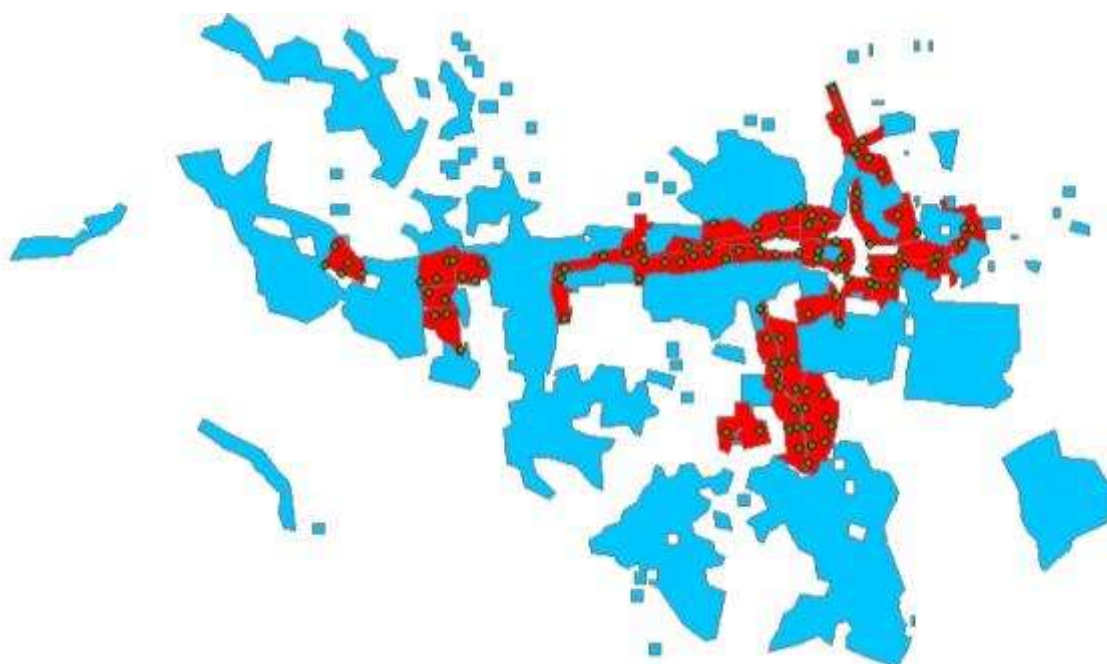
7-10. ábra: A szolgáltatási terület felosztása $k = 100$ –as küszöbérték esetén



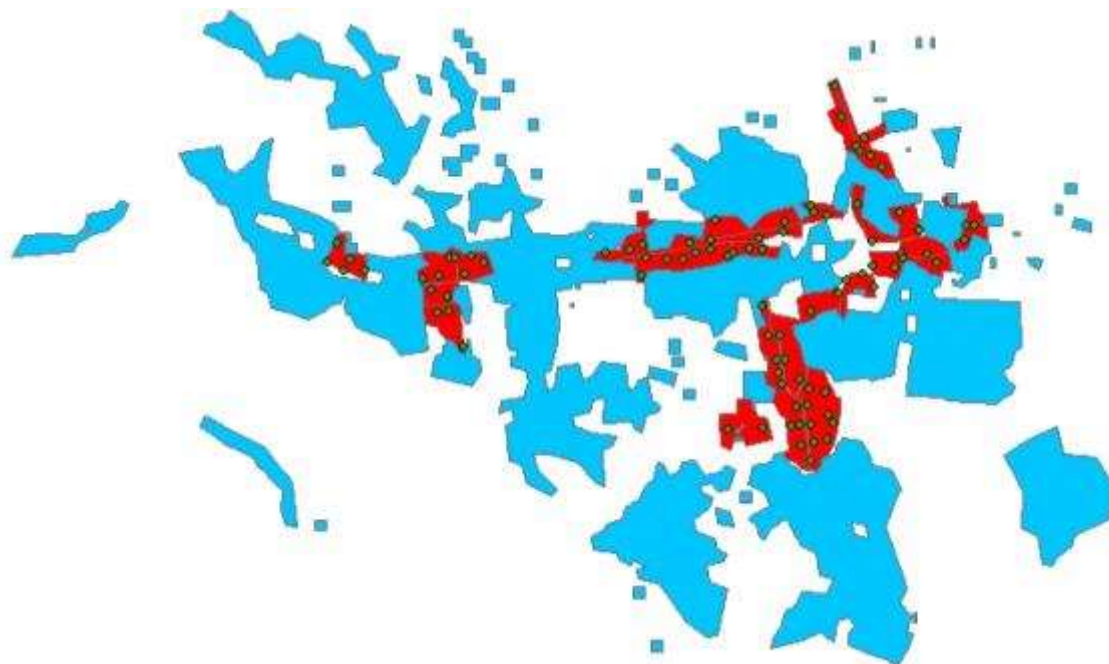
7-11. ábra: A szolgáltatási terület felosztása $k = 175$ –ös küszöbérték esetén



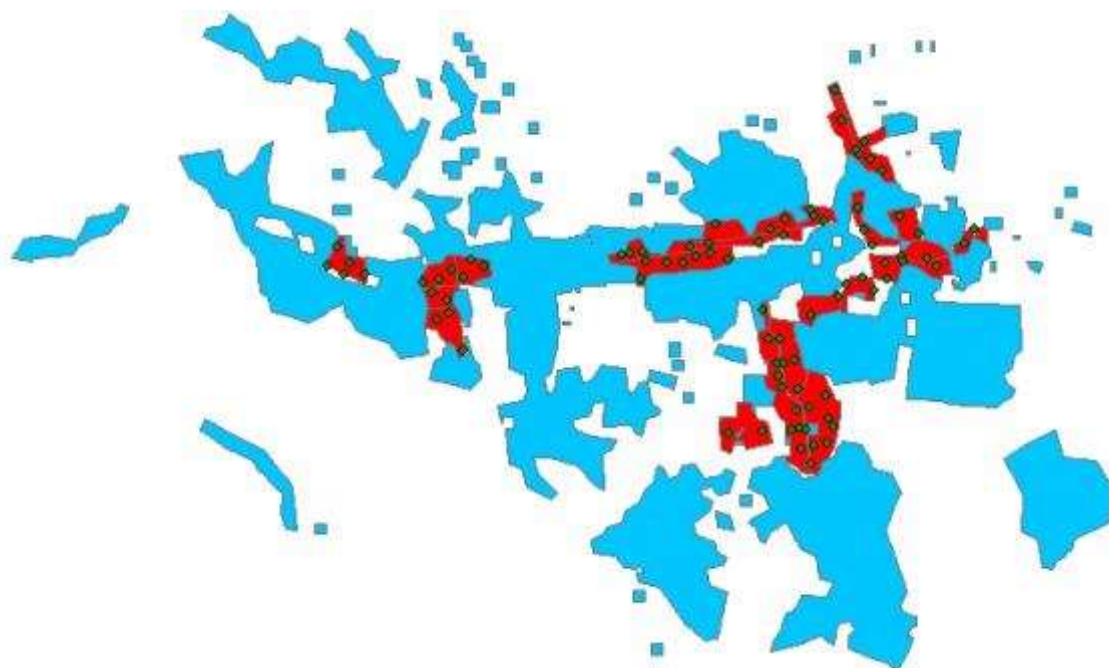
7-12. ábra: A szolgáltatási terület felosztása $k = 200$ –as küszöbérték esetén



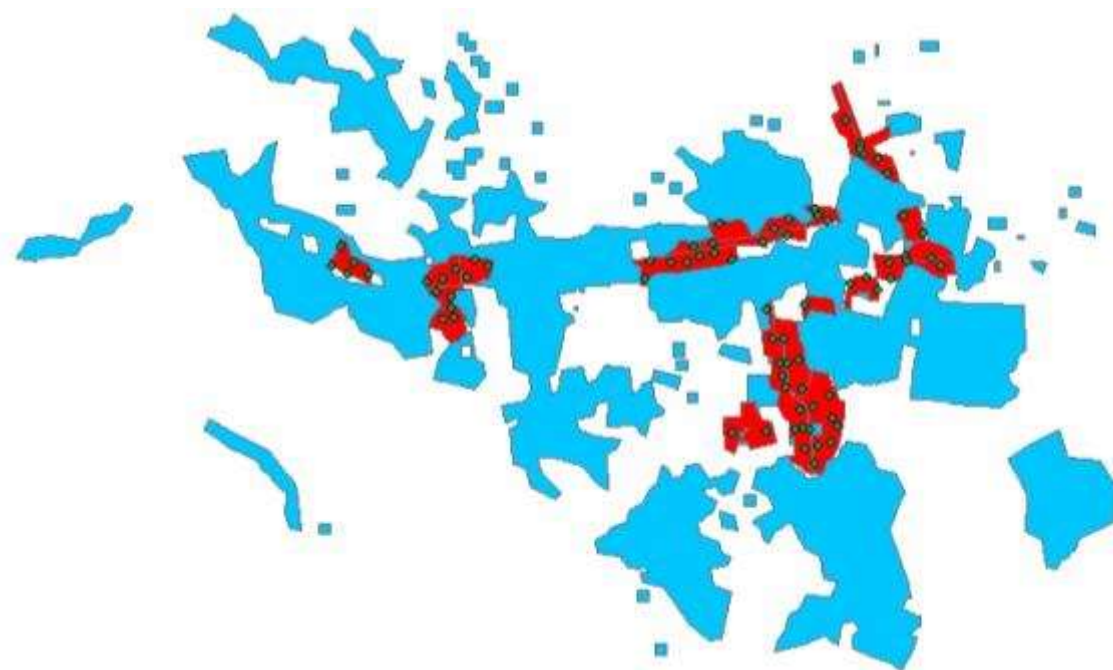
7-13. ábra: A szolgáltatási terület felosztása $k = 250$ –es küszöbérték esetén



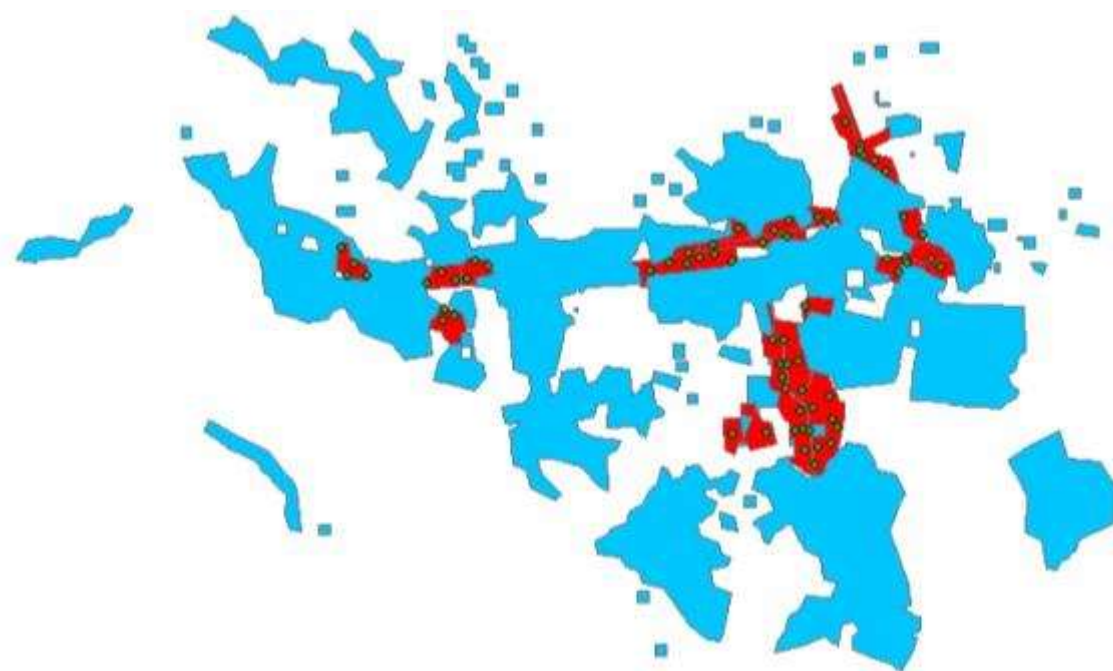
7-14. ábra: A szolgáltatási terület felosztása $k = 275$ –ös küszöbérték esetén



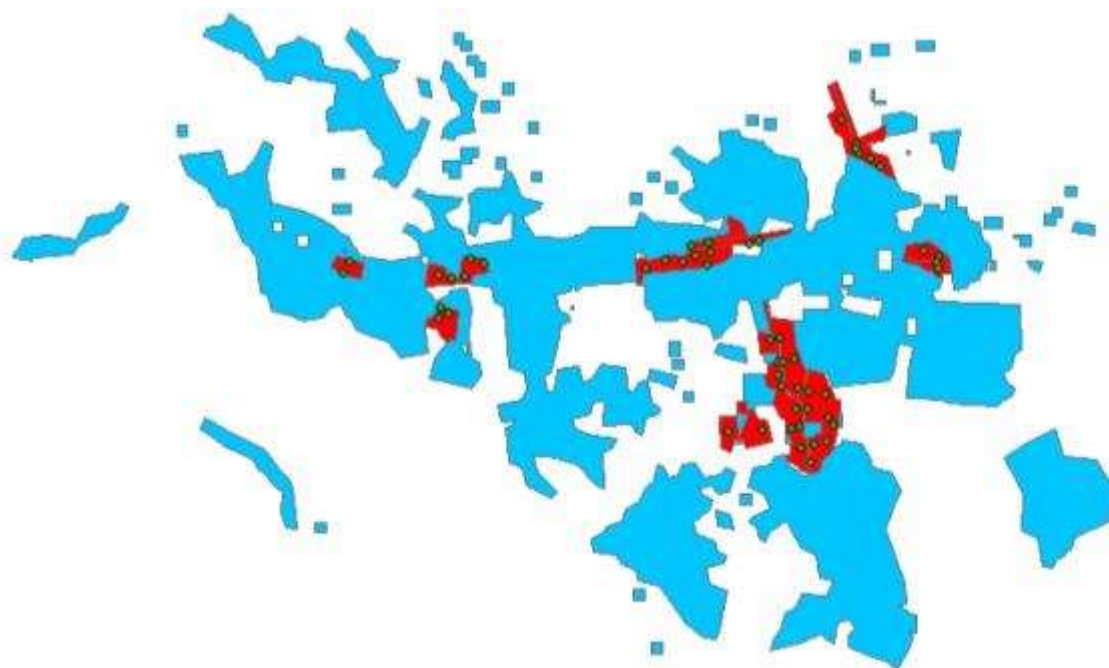
7-15. ábra: A szolgáltatási terület felosztása $k = 300$ –as küszöbérték esetén



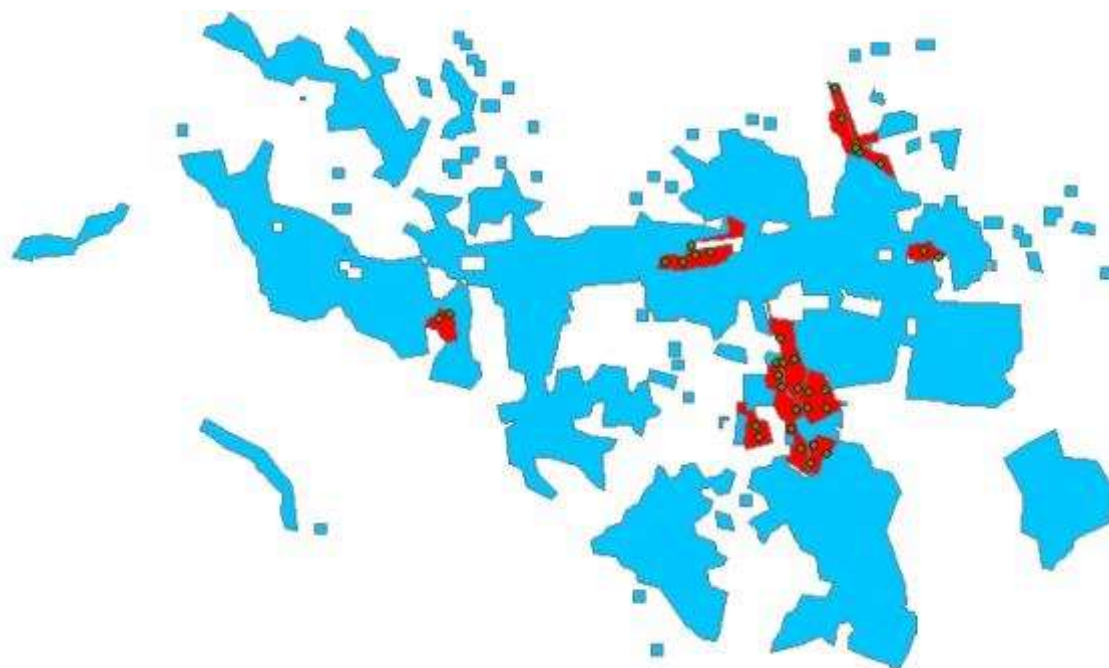
7-16. ábra: A szolgáltatási terület felosztása $k = 400$ –as küszöbérték esetén



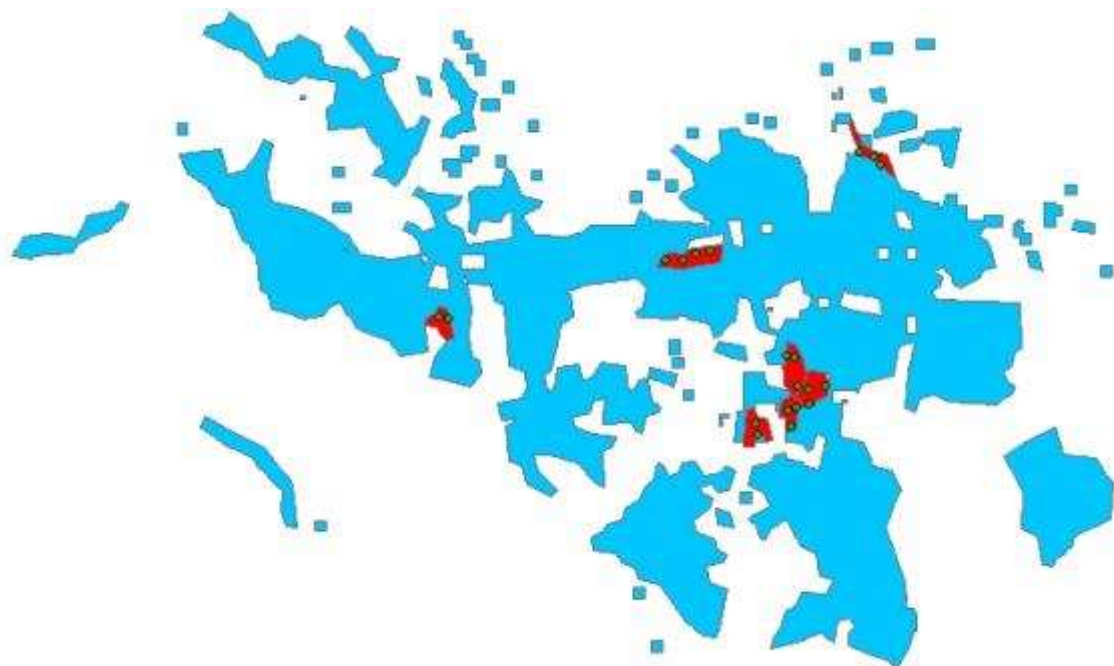
7-17. ábra: A szolgáltatási terület felosztása $k = 500$ –as küszöbérték esetén



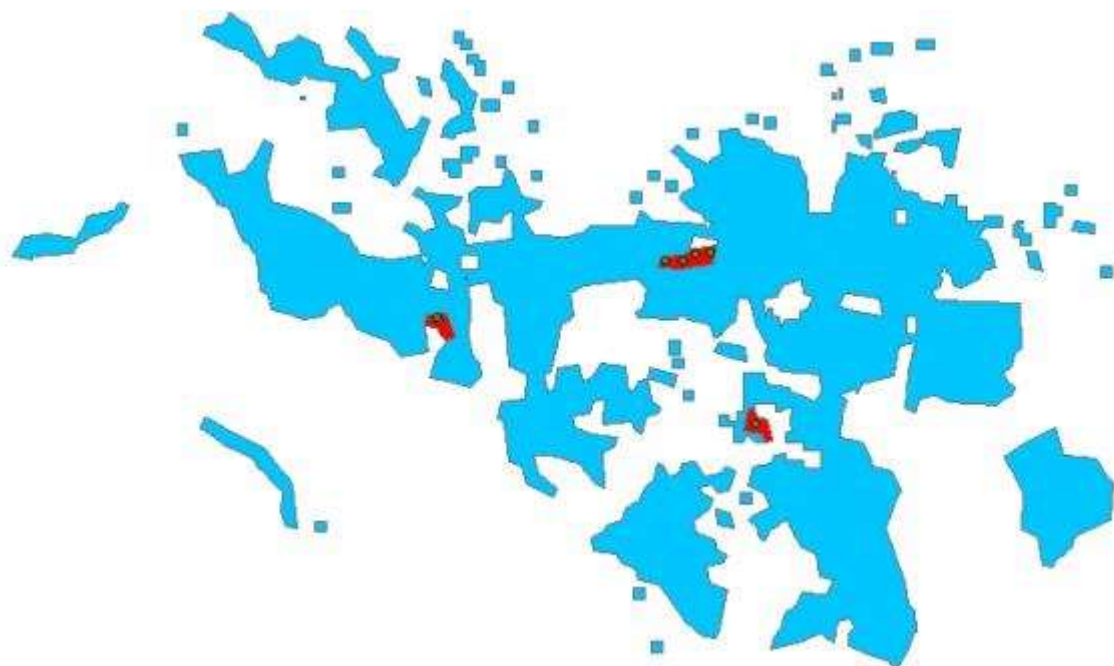
7-18. ábra: A szolgáltatási terület felosztása $k = 600$ –as küszöbérték esetén



7-19. ábra: A szolgáltatási terület felosztása $k = 700$ –as küszöbérték esetén

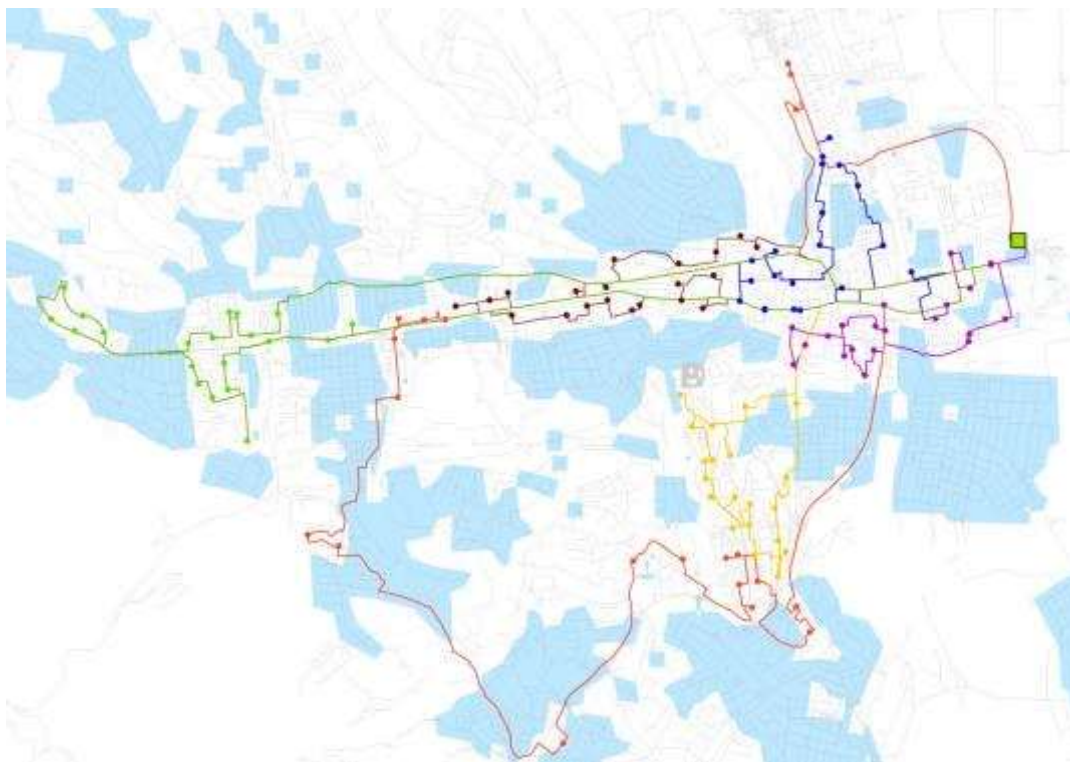


7-20. ábra: A szolgáltatási terület felosztása $k = 800$ –as küszöbérték esetén

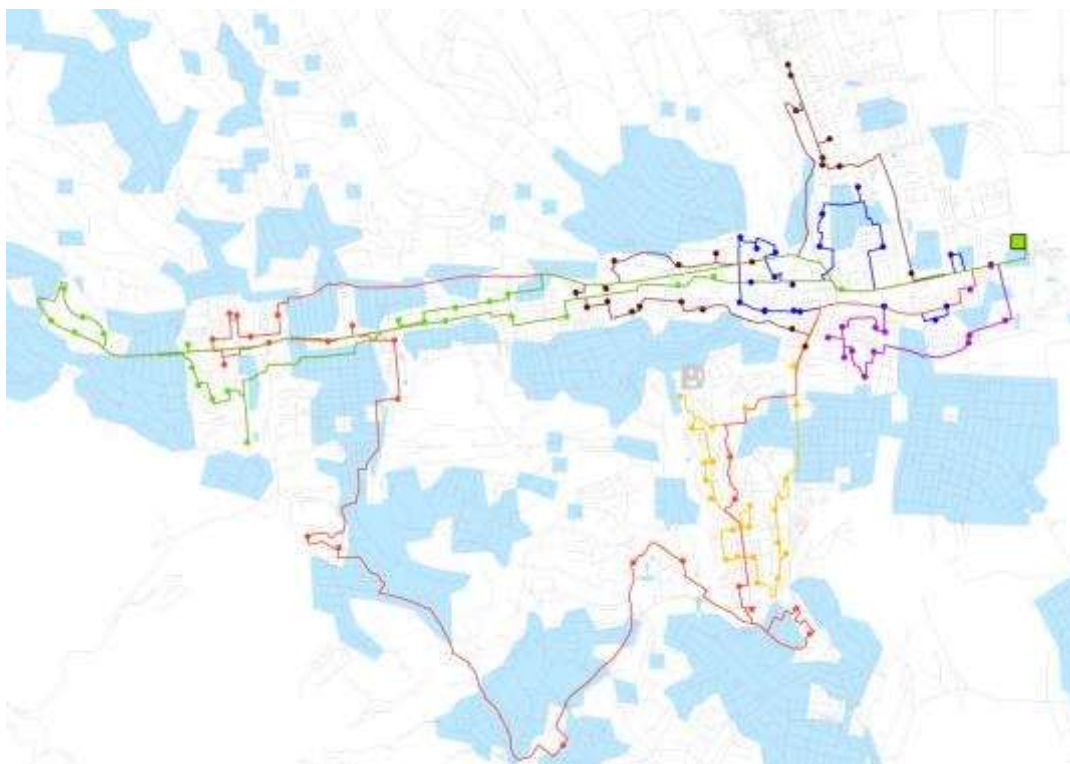


7-21. ábra: A szolgáltatási terület felosztása $k = 900$ –as küszöbérték esetén

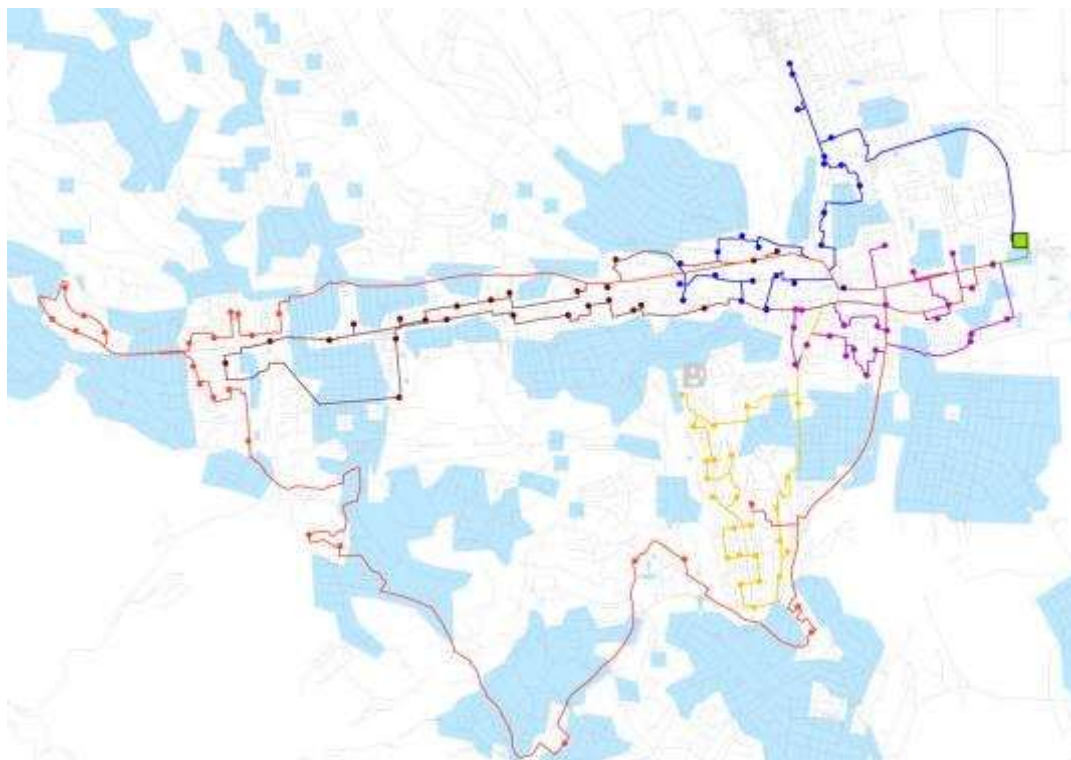
Érzékenységvizsgálat



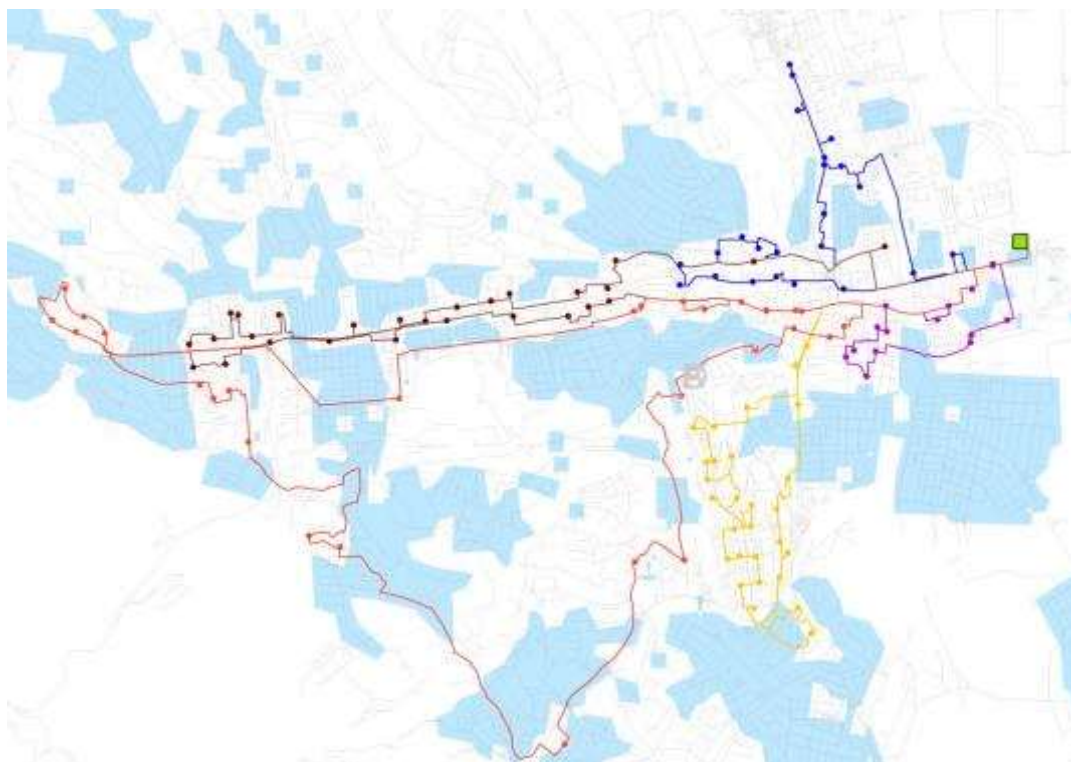
7-22. ábra: A gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok megjelenítése a szigetekhez rendelt háztartások igényének 100% -os értéke mellett



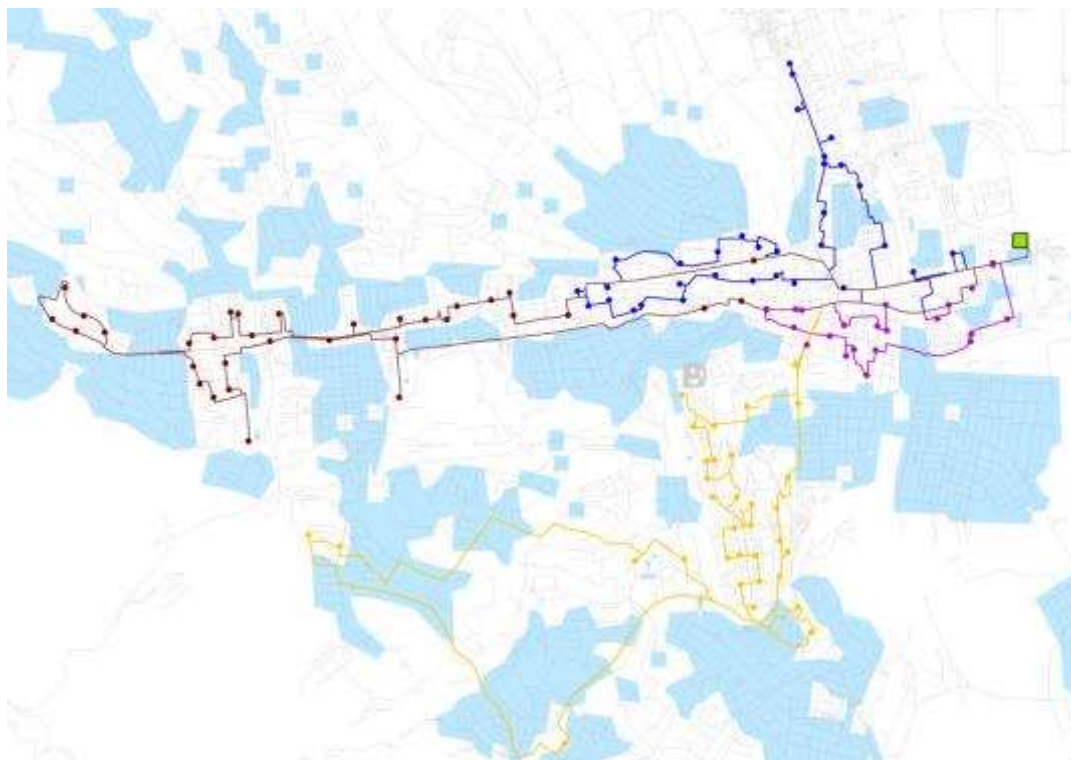
7-23. ábra: A gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok megjelenítése a szigetekhez rendelt háztartások igényének 90% -os értéke mellett



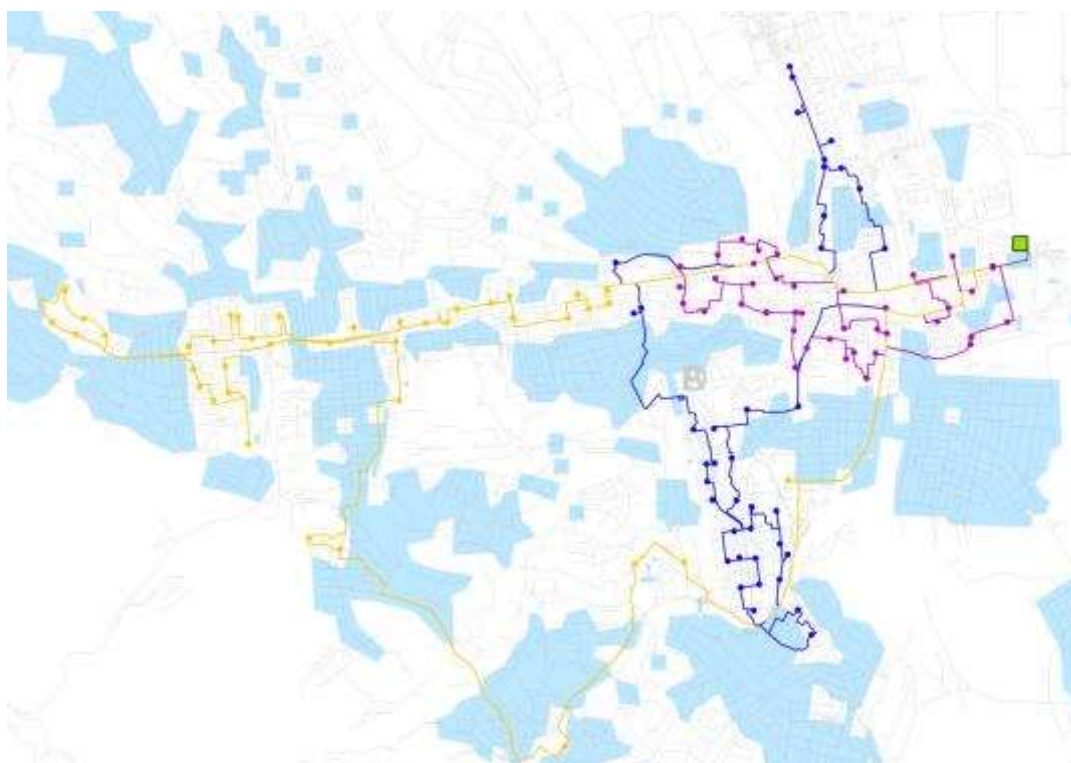
7-24. ábra: A gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok megjelenítése a szigetekhez rendelt háztartások igényének 80% -os értéke mellett



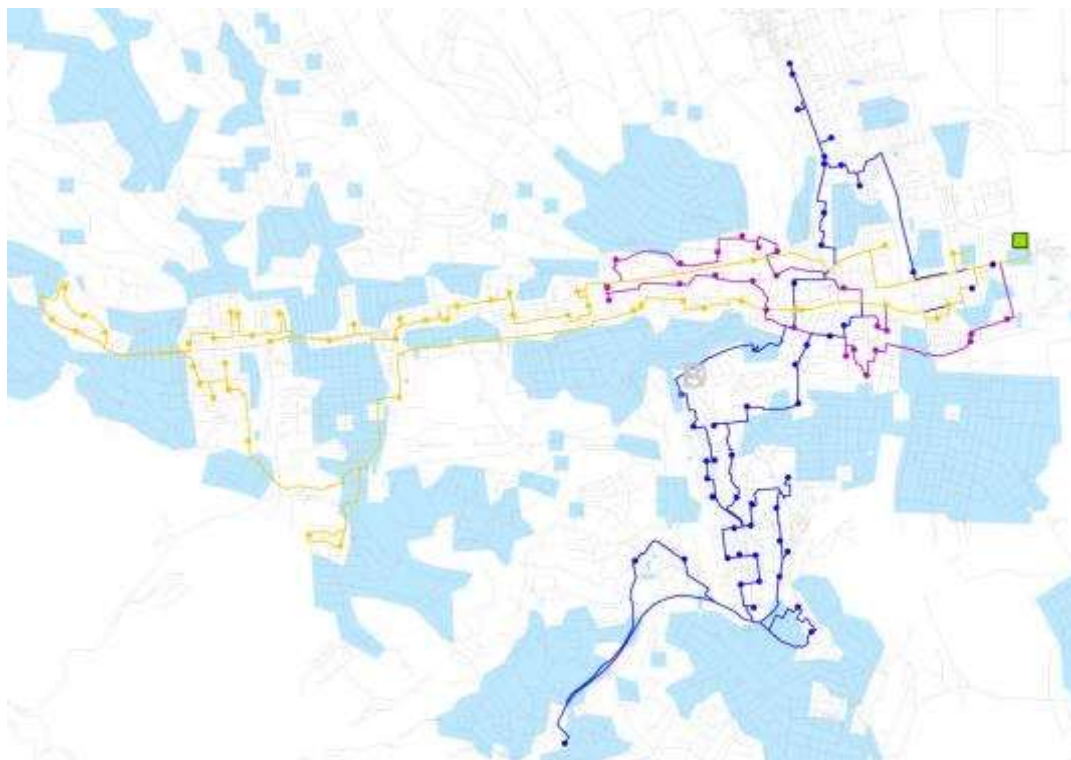
7-25. ábra: A gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok megjelenítése a szigetekhez rendelt háztartások igényének 70% -os értéke mellett



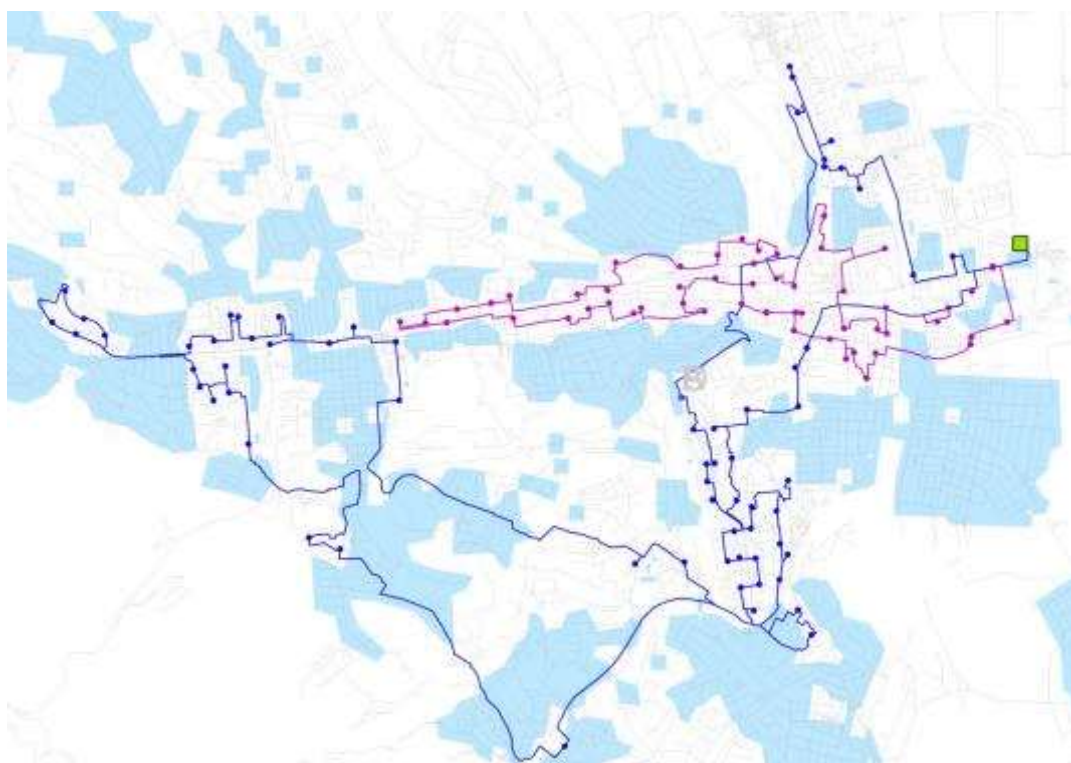
7-26. ábra: A gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok megjelenítése a szigetekhez rendelt háztartások igényének 60% -os értéke mellett



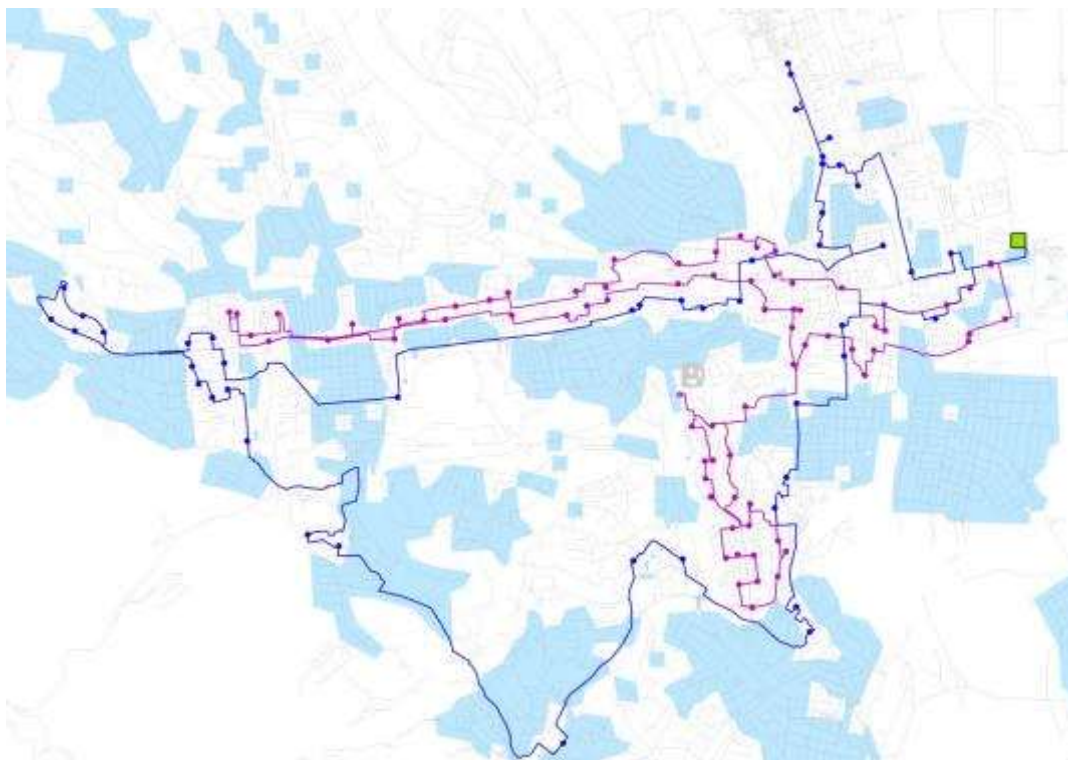
7-27. ábra: A gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok megjelenítése a szigetekhez rendelt háztartások igényének 50% -os értéke mellett



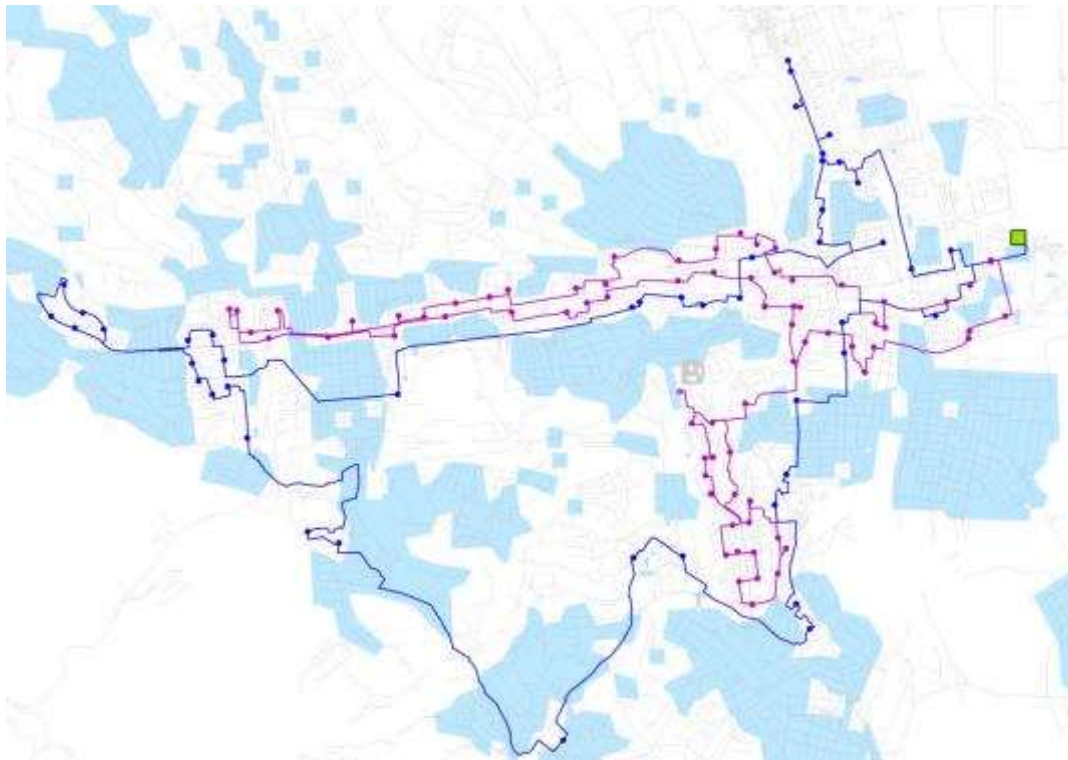
7-28. ábra: A gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok megjelenítése a szigetekhez rendelt háztartások igényének 40% -os értéke mellett



7-29. ábra: A gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok megjelenítése a szigetekhez rendelt háztartások igényének 30% -os értéke mellett



7-30. ábra: A gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok megjelenítése a szigetekhez rendelt háztartások igényének 20% -os értéke mellett



7-31. ábra: A gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok megjelenítése a szigetekhez rendelt háztartások igényének 10% -os értéke mellett

***A hulladékgyűjtési gyakorlattal való összevetés
során használt adatok***

7-23. táblázat: A gyűjtőszigetek csoportosítása a kiszolgálást végző járatoknak megfelelően

"A" -kör	"B" -kör	"C" -kör	"D" -kör	"E" -kör
Petneházy u. 4. mellett	Tapolca – Junó Hotel előtti parkoló	Eperjesi u. 2/B. lakópark előtti terület	Csanyik Majális parkoló	Melinda u. 11. előtti parkoló
Hejőcsaba - Csaba vezér-Szeretet u. kereszt.	Tapolca – Aradi sétány	Szeles u., templom mögötti parkoló	Csóka utcai bérházak között	Kont u. 19.
Hejőcsaba - Futó u., Hejő ABC előtt	Egyetemváros – E/5 kollégium előtt	Arany J. tér	Hegyalja u. 9. előtt	Király és Bihari u. kereszt.
Hejőcsaba-Farkas-Szalag kereszt. (trafóház)	Avas - Szentgyörgy és Nyíri D. u. kereszt.	Pallós utcai iskola melletti parkoló	Fényesvölgyi u., Fenyő ABC közelében	Vörösmarty utcai buszmegálló
Hejőcsaba-Almáskert u. Róna presszó előtt	Avas - Szentgyörgy u 51-57	Nagy Ferenc u.	Endrődi utcai iskola mellett	Arany J. u., 38-as végállomásánál
Hejőpark 24-es busz végállomásánál	Avas - Szentgyörgy u. 59. sz. környéke	Vologda u., faházak fagyizó közelében	Bartók B. u., Kenyérgyár mellett	Városház téri nagyparkoló
Görömböly Bacsynszki u. buszmegálló	Avas - Gesztenyés u., Posta mögötti parkoló	Bodótető – Dóczy u. buszforduló	Tokaji Ferenc utca 55	Nagyváthy és Geró u. kereszt.
Görömböly- Téglá u. élelmiszer bolt előtt	Avas - Áfonyás u., Platán ABC mögött	Tizeshonvéd u. 12. előtti parkoló	Volt Otthon Étterem melletti parkoló	Bárony J. u. 9. előtti parkoló
Görömböly -Szolártsik tér, Coop bolt mellett	Avas - Klapka és Kölcsey u. kereszt.	Győri kapu 4-8-10-12 bérházak melletti terület	Gagarin utcai iskolával szemben zöld terület	Thököly u. járda, közút közötti aszfaltozott terü.
Cora Hipermarket parkolója	Avas - Leszih u. 14. mellett	Kőporos u., OMV benzinkút mögött	Andrássy úti Penny Market melletti parkoló	Serház u., Százszorszép Óvoda közelében
Szirma-Erkel F. u. Hangulat presszó előtt	Avas - Klapka és Leszih u. kereszt.	Gyula u., Família csemege előtti parkolóban	IX. utca eleje (STADION PARKOLÓ)	Malomszög és Szent István u. kereszt. (3-5)
Szirma- Mályva u. (temető)	Avas - Klapka u. Plus ABC mögötti parkoló	Rácz Á. és Károly u. kereszt.	Vasgyári SZTK megállóval szembeni parkoló	Petőfi u 2/a, Mentőállomás mögött a Szinva par
Szirma- Berekkert és Miskolci u. kereszt.	Avas - Szentgyörgy és Szilvás u. kereszt.	Bíró és Avar u. kereszt., Bükk Áruház mögött	Kabar u., Diósgyőri kórház előtt	Kis-Hunyad u., Okmányiroda közelében
Szirma- Hajnóczi út. Coop bolt parkoló mellett	Avas - Sályi utcai ABC mögötti parkoló	Torontáli u. zöld terület	Bükkszentlászló 68-as busz végállomása	Patak u., a Zeneiskolával szembeni felső park
Martin Kv. Berzsenyi utcai buszmegálló	Avas - Testvérvárosok útja 36-38. közötti parkoló	Stadion u. 59. trafóházzal szemben	Bükkszentlászló, Fő u. híd mellett	Régiposta u. 18. sz. melletti zöld terület
Martin Kv. Alföldi u. és Fővényszer u. sarok	Avas - Testvérvárosok u. 32. mellett	Fazola H. u. 22 előtt	Komlóstető – Olvasztár utcai buszmegálló	Belváros, Bazár tömbnél levő körforgalomnál
Martin Kv. Kisfaludy u. parkoló	Avas - Tapolcai elág. buszmegálló mögött	Stadion vendéglő mögötti parkoló	Komlóstető, Lomb u. buszforduló	Romek tér, Levente vezér u. buszmegállóban
Selyemréti Dél, Selyemréti strandparkolója	Avas - Középszer u. 44. előtti parkoló	Pereces, Barátság téri buszm., Vilma presszó	Komlóstető – Szeder u. 40-42. közötti parkoló	Blaskovics u. orvosi lakótelepen
Teleki Tehetségfondozó	Avas - Aulich u. 22	Pereces, Erenyő u. 3. előtt	Gálfi I. u. eleje	Szentpéteri kapu, Katowice u.
Selyemréti- Észak, 8. sz. ált. iskola bejárata	Avas - Derkovits és Medgyessy u. kereszt.	Róna u., Fehér Akác Lakópark előtti területen	Gálffy u., Rózsakert ABC előtti parkoló	Megyei Kórház előtti buszmegálló
Selyemréti-Észak, Kőrösi Csoma S. u. 7 előtt	Avas - Ifjúság u. Európa liget alsó része	Budai Nagy Antal u., kisvasút végállomás	Győri kapui Plus bolt parkolója	Blaskovics utcával szembeni parkoló
		Árpád utcai szolgáltatóház mögött	Győri kapu 45. mellett	
		Árpád u., 101/B-s busz végállomásánál		
		Kuruc u. ABC mögött		

Jelölésrendszer

A DOLGOZATBAN HASZNÁLT BETŰSZAVAK, RÖVIDÍTÉSEK

TSZH	települési szilárd hulladékok,
CML2001	életciklus elemzések öko – indikátor rendszere,
KKSZ	hulladékcsoporthoz kezelést koordináló szervezetei,
KvVM	Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium,
OHÜ	Országos Hulladékgazdálkodási Ügynökség Nonprofit Kft.,
EK, EC	Európai Közösség,
KPI	(<i>Key Performance Indicator</i>) – gyűjtőjáratok teljesítményértékeléséhez használt mutatószám,
GIS	(<i>Geographic Information System</i>) – térinformatikai információs rendszer,
GPS	(<i>Global Position System</i>)- földfelszíni helymeghatározásra szolgáló műholdas rendszer,
OD Mátrix	(<i>Object- Destination Matrix</i>)- anyagáramlási relációk végpontjainak kapcsolódását leíró mátrix,
csH	a szolgáltatási terület családi házaz jellegű szegmensei,
ltP	a szolgáltatási terület társasházaz jellegű szegmensei,

A DOLGOZATBAN HASZNÁLT MATEMATIKAI JELÖLÉSEK

A hivatkozott szakirodalmi idézetekben használt matematikai jelöléseket a dolgozat szövegekörnyezetében magyarázom.

$K(i,j)$	a hulladékgyűjtő edények kapcsolati mátrixaz,
$L(i,j)$	a szolgáltatási terület útmátrixaz,
$V(i,j)$	a hulladékgyűjtő edények elhelyezkedését jellemző mátrixaz,
v_{ij}	a gyűjtőedények mérete a szolgáltatási terület raszteres megjelenítése során,
M_i	a szolgáltatási terület raszteres megjelenítése során használt színkomponensek vektora,
T_{ij}	a szolgáltatási terület raszteres megjelenítése során a transzformációs mátrix elemei,

G	a szolgáltatási terület raszteres megjelenítése során használt konvolúciós mátrix,
k_s	a szegmentálási távolság meghatározása során használt küszöbérték,
s_s	a szegmentálási távolság meghatározása során használt sajáttságvektor,
d_s	a szegmentálási távolság,
s_r	ráhordási távolság,
s_i	egy háztartás távolsága a gyűjtőszigettől,
q_{gyh}	családi házas háztartásokból gyűjtött hulladék mennyisége,
q_{gysz}	gyűjtőszigetekről gyűjtött hulladék mennyisége,
s_{gyh}	családi házas területeket kiszolgáló járatok úthossza,
s_{gysz}	gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok úthossza,
η_{gyh}	családi házas területeket kiszolgáló járatok gyűjtési hatékonysága,
η_{gysz}	gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok gyűjtési hatékonysága,
q_s	egy meghatározott időszak alatt a szelektív gyűjtőrendszer által összegyűjtött hulladék mennyisége,
q_c	egy meghatározott időszak alatt a szolgáltatási területről összegyűjtött kommunális hulladék mennyisége,
γ	szelektív hulladékgyűjtő rendszereket jellemző szelektív részarány,
p_{sz}	a szolgáltatási területen elhelyezni szükséges gyűjtőszigetek száma,
$ Z $	a hulladékgyűjtési szolgáltatás ellátásához hoz szükséges járművek száma,
k	a szolgáltatási terület felosztása során alkalmazott küszöbérték,
KPI_1	gyűjtőszigeteket kiszolgáló járatok hatékonysága,
KPI_2	családi házas területeket kiszolgáló járatok hatékonysága,
X_t	szezonális hatások elemzésére szolgáló időszakos hulladékmennyiség-adatok időszora,
T_t	a hulladékmennyiség- adatok trendkomponense,
S_t	a hulladékmennyiség- adatok szezonális komponense,
R_t	a hulladékmennyiség- adatok véletlen hibáját tartalmazó komponens.