10.15477/SZE.MMTDI.2016.004

Titrik Ádám

# Szelektív hulladékgyűjtés új real-time alapú infokommunikációs támogatású rendszerének kifejlesztése és közlekedési szempontú optimalizálása

doktori értekezés

Témavezető:

Dr. Lakatos István

Széchenyi István Egyetem

Infrastrukturális Rendszerek Modellezése és Fejlesztése

Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola

# Tartalomjegyzék

1. Bevezetés ..... 5

1.1. A kutatási téma bemutatása, a kutatás célkitűzései ..... 5

1.2. A kutatás során alkalmazott módszerek ..... 7

1.3. A disszertáció felépítése, hipotézisek ..... 8

2. A szelektív hulladékgyűjtés kifejlődésének alapjai ..... 12

2.1. A hazai hulladékgazdálkodás jellemzése ..... 12

2.2. Csomagolóanyagok jellemzése ..... 17

2.3. Hulladékok csoportosítása ..... 18

2.4. A lakossági szelektív hulladékgyűjtéssel kapcsolatos előírások ..... 19

2.5. A szelektív hulladékgyűjtés fontossága ..... 20

2.6. A szelektív hulladékgyűjtés alapjai – a fejezet összefoglalása ..... 24

3. A hulladékgyűjtéssel kapcsolatos szakirodalom áttekintése ..... 26

3.1. Külföldi szakirodalom áttekintése ..... 26

3.2. A hazai szakirodalom áttekintése ..... 34

3.3. A hulladékgyűjtéssel kapcsolatos szakirodalom áttekintése – a fejezet összefoglalása 37

4. Feladatkitűzés ..... 38

5. A szelektív hulladékgyűjtés új real–time alapú infokommunikációs támogatású rendszerének kifejlesztése és közlekedési szempontú optimalizálása ..... 43

5.1. A real–time alapú infokommunikációs rendszer ismertetése ..... 43

5.2. A szelektív hulladékgyűjtő edény telítettségi szintjének meghatározása ..... 44

5.3. A szelektív hulladékgyűjtő edényhez tartozó információ ..... 55

5.4. A továbbfejlesztett útvonal optimalizáció ..... 56

5.5. Rendszer működésének ismertetése ..... 56

5.6. A szelektív hulladékgyűjtés új real–time alapú infokommunikációs támogatású rendszerének kifejlesztése és közlekedési szempontú optimalizálása – a fejezet összefoglalása ..... 59

6. A magasabb szintű hulladékgyűjtés definiálásához szükséges egyéni gyűjtési módot jellemző adatok felmérése ..... 61

6.1. Magasabb szintű hulladékgyűjtés definiálásához szükséges egyéni gyűjtési módot jellemző adatok felmérése – a fejezet összefoglalása ..... 66

7. A real–time alapú infokommunikációs szelektív hulladékgyűjtő rendszer járművének kapacitás-kihasználtsági vizsgálata ..... 67

7.1. A szelektív hulladékgyűjtő edénybe elhelyezett hulladék paramétereinek mérési lehetősége ..... 67

7.2. PET palackok paramétereinek vizsgálata ..... 68

7.3. A hulladékgyűjtő edény telítődésének vizsgálata ..... 79

7.4. PET palack tömörítésének laboratóriumi vizsgálata ..... 82

7.5. A hulladékgyűjtő jármű tömörítő egységének vizsgálata ..... 86

7.6. A hulladékgyűjtő jármű telítődésének optimalizálása ..... 86

7.7. A real–time alapú infokommunikációs szelektív hulladékgyűjtő rendszer járművének kapacitás-kihasználtsági vizsgálata – a fejezet összefoglalása ..... 88

8. Real–time alapú infokommunikációt alkalmazó szelektív hulladékgyűjtés logisztikájának tervezése ..... 90

8.1. Matematikai alapok ..... 90

8.2. A real–time alapú infokommunikációs hulladékgyűjtés optimalizálásának folyamata 92

8.3. Real–time alapú infokommunikációt alkalmazó szelektív hulladékgyűjtés logisztikájának tervezése – a fejezet összefoglalása ..... 112

9. A real–time alapú infokommunikációs rendszer alkalmazásának előnyei a szelektív hulladékgyűjtés területén ..... 114

10. Összefoglalás, tézisek, továbbfejlesztési irányok ..... 125

11. Köszönetnyilvánítás ..... 135

12. Irodalomjegyzék ..... 136

13. Ábrajegyzék ..... 146

14. Táblázatjegyzék ..... 149

15. Mellékletek ..... 150

# 1. Bevezetés

A kimerülő energiaforrások, a növekvő lakosságszám, a környezetvédelmi problémák mind a környezettudatos tervezés, felhasználás és újrahasznosítás fontosságát helyezték előtérbe. A környezeti terhelések egyik nagy területe a lakossági felhasználás során keletkező háztartási hulladék, így annak szeletív gyűjtése kiemelkedő fontosságúvá vált. A szelektív hulladékok begyűjtése bonyolult logisztikai - pontosabban inverz-logisztikai feladat. Másrészről a törvények és kormányrendeletek is nagymértékben átalakították a hulladékgyűjtéssel kapcsolatos gondolatokat. Mivel Magyarország az EU-hoz való csatlakozásának következtében a hasznosítható anyagok visszagyűjtési arányának növelését az EU-s irányelveknek megfelelően kell megoldania, így ez már nem csak hazai érdek, hanem EU-s előírás is. Ezzel párhuzamosan viszont a szolgáltatás elvégzéséhez szükséges kiadások mértékét a szolgáltatók nagyságrendekkel voltak kénytelenek csökkenteni, így az ürítési rend optimalizálása helyett, inkább „késleltetett" begyűjtés alkalmazására került sor, ezáltal veszélyeztetve a tisztább, élhetőbb város kialakulásának lehetőségét.

A lakossági szelektív hulladékgyűjtés egyik kulcskérdése a szolgáltatási színvonal növelésének lehetősége a hulladékelhelyezés területén – melynek megvalósításához kiemelkedő jelentőséggel bír az edény megfelelő ürítési rendjének definiálása. A különböző gyűjtési módszerek mellett – melyek statisztikai alapok segítségével kerültek definiálásra – a begyűjtés hatékonyságának vizsgálata is az egyik fontos kérdés, pontosabban az, hogy a meglévő gyűjtési módok ténylegesen teljesíteni tudják a feladatot, azaz akkor, amikor indokolt és mindezt minimális energiafelhasználással valósítsák meg.

A környezetvédelem egyik kiemelt területe a szelektív hulladékgyűjtés, amely értékrenddel szemben állnak a fosszilis energiát felhasználó hulladékgyűjtő járművek, amik begyűjtő útjuk során különböző környezetterhelést okoznak, – közvetlenül és közvetetten – mint például zaj és légszennyezés, ezért kiemelt hangsúlyt kell fektetni az edények elérési útvonalának optimalizálására.

## 1.1. A kutatási téma bemutatása, a kutatás célkitűzései

Az újrahasznosítható hulladék begyűjtésére és az élhetőbb tisztább város kialakulásának lehetőségét nem veszélyeztető inverz logisztikai rendszer továbbfejlesztésére – újradefiniálására van szükség. Igény merült fel egy olyan rendszer bevezetésére, amely képes

a szolgáltató számára detektálni az ürítendő edényeket, ezzel kerülve az indokolatlan ürítések számát, illetve a telített edények optimális időn túli ürítését. Az ürítendő edények detektálása mellett különböző INPUTOK segítségével – közútkezelő – egy magasabb szintű optimalizálás megfogalmazására nyílik lehetőség, mellyel a gyűjtőjárat gyűjtési hatékonysága maximalizálásra kerül.

A kutatás célkitűzése egyrészről a szelektív hulladékgyűjtésre használt edény telítettségmérő és adatközlő egységgel történő ellátásának vizsgálata, amely alkalmas az edényben elhelyezett hulladék különböző módokon történő (egy és kétirányú kommunikáció) adatközlésére. Az energiahatékonyság szempontjából releváns dolog, hogy hányszor kerül alkalmazásra kétoldali kommunikáció az edény és központ között, ezért célom meghatározni, hogy mely telítettségi szint esetén célszerű az egyoldali kommunikációt aktiválni az edény és a központ között.

Másik fontos célkitűzésem a hulladékgyűjtés logisztikájának felmérése, a fejlesztési irányok definiálása az adott kor igényeinek megfelelően. Kettős célt szeretnék megfogalmazni: az egyik az útvonaltervezés során a telített edények begyűjtése mellett olyan döntés definiálása, amely statisztikai adatokra támaszkodva lehetővé teszi az olyan edények ürítését, amelyek a begyűjtés pillanatában még nem telítettek, de az előzetes adatokra támaszkodva telítődésük várható - azaz az edény ürítése indokolt. Másik célom az, hogy a begyűjtés logisztikájának folyamatát egy magasabb szintre emeljem, így a hulladékgyűjtő jármű nem csak a járattervező központban definiált útvonalat járja be, hanem a real-time alapon kommunikáló edény-központ-hulladékgyűjtő jármű lehetőségét kihasználva, folyamatos útvonal újradefiniálást tesz lehetővé. A kutatás célja az útvonal újradefiniálása terén, hogy olyan edények ürítése is bekerüljön a járattervbe, amelyek a jármű hulladékgyűjtési időtartama során kerülnek telítődésre.

Harmadik célkitűzés a jármű telítődés-optimalizálásának definiálása. Az inverz logisztika során a hulladékgyűjtő jármű bejárási útvonala településtől és begyűjtési körzettől függően akár több száz kilométert is elérhet, így a hulladékgyűjtő jármű telítődési vizsgálatára nagy hangsúlyt kell fektetni, ezzel kiküszöbölve azt a helyzetet, hogy a logisztika szempontjából legkedvezőtlenebb helyen telítődjön a jármű. A kutatás alapja az edénybe elhelyezett hulladék paramétereinek vizsgálata, melyek közé a térfogat, tömörítettségi állapot, tömeg és a hulladék továbbtömörítése tartozik. A vizsgálatok elvégzése következtében az edénybe elhelyezett hulladék térfogatmérése mellett a hulladék tömegének mérése is megtörténik, így a két mért paraméterből következtetni lehet a tömöríthetőségi arányra – ezzel prognosztizálható a jármű

telítődése. A jármű-kapacitás-kihasználtság maximalizálásához a jármű telítődése is mérésre kerül, így az esetleges előre definiált edények begyűjtésekor maradt szabad térfogatot, további – optimálisan kiválasztott – edény felvételével áll módban telíteni.

A kutatás–fejlesztés a szelektív hulladékgyűjtés területén kerül bemutatásra, azonban a vizsgálatok során a négy fő, szelektíven gyűjtött hulladék közül – PET, papír, üveg, fém – egy kerül kihangsúlyozásra, mégpedig a PET palack. A PET palack gyűjtése kimagasló fontossággal bír, hiszen az élelmiszeripar területén az egyik leggyakrabban alkalmazott csomagolóanyag, és így a legnagyobb mértékben előforduló újrahasznosítható hulladék is. Megállapítható, hogy a „legproblémásabb" anyag a szelektív hulladékgyűjtés területén, hiszen a hulladék átlagsűrűsége mindössze (PET palack, folyadék, levegő, HDPE/PP kupak és biztonsági zár, PET fólián lévő felirat) 20kg/$m^3$és 50kg/$m^3$közé tehető, mely főleg a benne lévő levegő mennyiségétől és folyadék sűrűségétől, valamint a PET palack térfogatától is függ. Az alapanyagra jellemző sűrűségi érték (1350kg/$m^3$) a hulladék tömörítése során természetesen csak elméleti szinten érhető el, azonban komoly hangsúlyt kell fektetni rá a hulladékgyűjtés területén, hiszen a több tonnás dízel üzemű hulladékgyűjtő jármű (22$m^3$ kapacitású) mindössze 1000kg–2000kg PET hulladékot képes begyűjteni.

Dolgozatomban az algoritmus célfüggvény kerül továbbfejlesztésre, azaz meglévő adatokkal operálok, a korlátozó feltételek kerülnek szűkítésre, továbbá a célfüggvényeket a valósághoz igazítom– a dolgozatnak nem célja új algoritmusokat megfogalmazni.

## 1.2. A kutatás során alkalmazott módszerek

A kutatás első fázisában irodalomkutatást végeztem, mely során a begyűjtési logisztikával kapcsolatos irodalmat tekintettem át. Az irodalmat releváns hazai és külföldi folyóiratokból, konferenciák előadásaiból és doktori értekezésekből tanulmányoztam és mutattam be.

A kutatás második fázisában az irodalmakban megfogalmazott gondolatokat, optimalizációkat alátámasztottam és azokat tovább fejlesztettem. A kutatás során ezen állításokat tovább tanulmányozva magam is hipotéziseket fogalmaztam meg.

A kutatásomhoz szükséges adatokkal és vizsgálóhellyel kapcsolatosan logisztikai szakértőkkel konzultáltam. A modellalkotásnál a savings módszert vettem alapul, amely a logisztikában az útvonal–optimalizálás területén kiemelkedő jelentőségű.

A statisztikai hivatalban fel nem lelhető adatokkal kapcsolatban kérdőív formájában adatgyűjtést végeztem.

A logisztika magasabb szintre történő emelésének igazolására az általam definiált szimulációs módszert alkalmaztam, konkrétan egy magasabb szintű inverz logisztikát a hulladékgyűjtésére.

## 1.3. A disszertáció felépítése, hipotézisek

Dolgozatom első részében bemutatom a hulladékgyűjtés inverz logisztikájának kialakulási folyamatát, a szolgáltatók létrejöttének szükségességét, ismertetem tevékenységüket és az általuk nyújtott szolgáltatásokat. Ismertetem a hulladékgyűjtéssel kapcsolatos előírásokat, a hulladékkezelési módokat, majd a fejezetet a szelektív hulladékgyűjtés fontosságával folytatom.

A következő fejezetben a szolgáltatók feladatainak bemutatása, elemzése után megvizsgálásra kerültek az alkalmazott hulladékgyűjtő rendszerek. A vizsgálatot különböző hazai és külföldi cikkek, könyvek, doktori disszertációk tanulmányozásával végeztem el. A releváns példákat kiemeltem, melyeket felhasználva vagy továbbfejlesztve integráltam a munkámba.

A szakirodalomkutatást követően megvizsgálásra kerül a doktori disszertációm témája. SWOT analízis is készült a kutatással kapcsolatosan, így egyértelműen látható, hogy milyen főbb jellemzői vannak a disszertációmnak.

Az 5. fejezetben vizsgálatra kerülnek az egyes mérési módszerek, amelyeket rendszereztem és osztályoztam különböző alkalmazhatósági szempontok alapján. Figyelembe vettem a mérési módszerek kombinálhatóságának lehetőségét. Az információ áramlásának lehetőségét is megvizsgálom. Fontos a real–time alapú kommunikáció kialakítási lehetőségének vizsgálata az edény – járattervező központ – hulladékgyűjtő jármű között.

A 6. fejezetben nagy hangsúlyt fektetek olyan releváns adatok megvizsgálására – kérdőív formájában – a PET palack használatával kapcsolatosan, amelyek nélkülözhetetlenek a doktori disszertációmhoz, és a statisztikai hivatalokban nem lelhetők fel.

A 7. fejezet átfogó és mindenre kiterjedő vizsgálatot tartalmaz a PET palackokkal kapcsolatosan. A vizsgálat kiemelkedő fontosságú a hulladékgyűjtő jármű telítődési helyének prognosztizálása céljából.

A 8. fejezetben a hulladékgyűjtés logisztikájának tervezése kerül bemutatásra. A tervezés folyamata lépésről lépésre kerül bemutatásra. A tervezésbe az általam definiált összes optimalizáló elem integrálásra került.

A 9. fejezetben a magasabb szintű hulladékgyűjtő rendszer számítógépes vizsgálata kerül végrehajtásra. A vizsgálathoz valós adatok kerültek felhasználásra.

A disszertációm utolsó fejezetében összefoglalásra és a tézisek bemutatására, valamint a további kutatási irányok ismertetésére kerül sor a témával kapcsolatosan.

**Hipotézisek**

A kutatásom előzményeként megfogalmazott hipotéziseimet az értekezés felépítésének megfelelően, sorrendben az alábbiakban foglalom össze:

***H1. A feladatot olyan új, szelektív hulladékgyűjtő rendszer definiálásával vizsgálom, amely infokommunikációs csatolással analizálja az edények telítettségi állapotát és ezzel kívánom maximálni a hulladékgyűjtő járatok hatékonyságát.***

*H1.1. Fontosnak tartom vizsgálni és definiálni az edény telítettségének azt a szintjét, amely esetén már indokolt az egyoldalú kommunikáció (edény–járattervező központ / hulladékgyűjtő jármű) és megvalósítható az optimálás.*

Fontosnak tartom megfelelő körülmények között elvégzett validálással alátámasztani, hogy az általam meghatározott új hulladékgyűjtő rendszer a szakirodalomban - és jelenleg a gyakorlatban fellelhetőknél is hatékonyabban alkalmazható.

***H2. Munkahipotézisem egy új összetett mérési módszer megalkotása, melynek alkalmazásával a járműkapacitás-kihasználtság maximalizálható a bejárási útvonalhossz optimalizálása mellett.***

A kutatás kiterjed a szelektív hulladékgyűjtő edénybe elhelyezett hulladék térfogat és továbbtömöríthetőség vizsgálatára. Ennek magában kell foglalnia, hogy a felhasználó által különböző módon előtömörített csomagolóanyag milyen mértékben tömöríthető tovább. A továbbtömöríthetőségi érték nagy jelentőséggel bír a szelektív hulladékgyűjtő jármű telítődésének időpontjára.

*H2.1. Megoldandó feladat az összetett mérési rendszer létrehozása, amely képes az edénybe bedobott hulladék pontos tömöríthetőségét ismertetni a járattervező központtal.*

*H2.2. Az új mérési rendszer alkalmazásával nagy pontossággal meghatározható az edénybe elhelyezett hulladék térfogata és tömege. Ennek alapján lehet következtetni a továbbtömöríthetőségről, így prognosztizálni lehet a hulladékgyűjtő jármű telítődésének időpontját.*

*H2.3. Célom olyan rendszer kialakítása, amelynél a járműkapacitás-kihasználtság folyamatos monitoringozása történik. Ennek során, a tervezett edényfelvételeket követően szabad hely esetén, további edények felvételére kerül sor az optimális kiválasztást szem előtt tartva.*

***H3. Fontosnak ítélem a hulladékgyűjtés logisztikai teljesítményének folyamatos analízisét és az ennek megfelelő komplex rendszer megalkotását. Célom, hogy ez real–time alapon további rendszereket integráljon a folyamatba a hatékonyságot optimalizálva. Hipotézisem, hogy az infokommunikációs rendszer alkalmazása lehetővé teszi a hulladékgyűjtés során a további telítődésre került edények ürítését.***

Munkahipotézisem, hogy az új, szelektív hulladékgyűjtő rendszer hatásfoka tovább növelhető a külső rendszerek kapcsolatával, amelyek szintén real–time alapon képesek a rendszerbe INPUT adatokat küldeni.

*H3.1. Az edény felvételének döntési kritériumát a hulladékgyűjtő jármű telítődéséhez rendelem, mint a járatterv újraoptimalizálásának változóját.*

*H3.2. A gyakori telítettségű edény kapacitás bővítésének (edény darabszám) optimalizálását a rendszermodell segítségével támasztom alá.*

A továbbfejlesztésnek köszönhetően a nem telített és nem várható telítődésű edény, a begyűjtés folyamán történt telítődése esetén a begyűjtési folyamatba integrálásra kerül – a paraméterek megvizsgálását követően.

***H4.: Alkalmazom, hogy szekvencionálisan végrehajtott optimalizációs folyamat esetén nem mindig elegendő az egyes feladatok optimumát meghatározni, mert ezen „részoptimumok" összessége nem adja meg a teljes optimumot, azaz egy adott időszakra vonatkozó operáció sorozat megoldható kevesebb összköltséggel, ha az egyes járatterv optimuma nem csak az adott körre vonatkozik, hanem figyelembe veszi az összes kör paramétereit.***

Az INPUT adat figyelembe vételével a programozási feladat nem csak egy adott begyűjtési kört optimalizál, hanem egy operáció sorozat kerül optimalizálásra.

# 2. A szelektív hulladékgyűjtés kifejlődésének alapjai

A hulladék fogalmának definiálása komolyabb átfogó vizsgálatot igényel. A hulladék egyik legpontosabb definiálása Dr. Domonkos Endréhez [1] fűződik, mely szerint „A hulladék fogalmának definiálása mélyebb áttekintést igényel. Az emberi tevékenység sokrétűsége, a hulladékok anyagi tulajdonságainak változatossága, a gazdaságilag különbözőképpen fejlett országokban a megítélés eltérő szempontjai mind megnehezítik a fogalom minden szempontra kiterjedő megfogalmazását. A hulladék valójában nem környezetvédelmi, hanem jogi és gazdasági fogalom, amelynek azonban fontos környezeti vonatkozásai vannak.

Általános értelemben hulladéknak tekinthető az a bármely halmazállapotú, önállóan vagy hordozó közeggel megjelenő anyag és energia, ami az ember mindennapi életéből, termelő, szolgáltató vagy fogyasztó tevékenységéből ered, és az adott műszaki, gazdasági, társadalmi feltételek között tulajdonosa sem felhasználni, sem értékesíteni nem tud, illetve nem kíván sem kezelve, sem kezeletlenül, ezért átalakítással vagy a nélkül történő, a környezetre ártalmatlan elhelyezéséről átmenetileg vagy véglegesen gondoskodni kell. Annak megítélésében, hogy egy anyag, tárgy hulladéknak minősül–e vagy sem, az anyagi jellemzőkkel legalább azonos súlyú szerepet játszanak a társadalmi, gazdasági tényezők.”

## 2.1. A hazai hulladékgazdálkodás jellemzése

A hulladékgazdálkodás területén 2003 és 2008 közötti időszakban hazánkban először kerültek definiálásra a fő célok, konkrét cselekvési feladatok, illetve a teljesítésükhöz nélkülözhetetlen eszközök rendszerbe foglalása. Ezek a célok, eszközök az első Országos Hulladékgazdálkodási Terv részeként (OHT–I.) – melyek a második Nemzeti Környezetvédelmi Programmal (NKP–II.) voltak összhangban – kerültek definiálásra.

A gazdasági tevékenységből származó hulladékok – melyek nagy része a hulladékképződésnek – mennyisége nagyságrenddel csökkent, viszont megállapítható, hogy a hulladékkezelés területén nem került sor fejlesztésre.

A 2003–2008 közötti időszak környezetpolitikáját nagyban befolyásolták a globális problémák:

- az éghajlatváltozás veszélyének erősödése,
- a biológiai sokféleség csökkenése,

- az ivóvízkészletek egyes térségekben megmutatkozó szűkössége és elszennyeződése,
- a vegyi anyagokkal és azok kezelésével kapcsolatos problémák.

Az időszak elején azonban ezek a szempontok háttérben maradtak, majd csak később kerültek számításba vételre.

A környezetünk folyamatos átalakulása figyelemfelkeltő hatással bírt, mely szerint:

- a helytelenül kialakított hulladéklerakók nem csak helyi problémákat okoznak,
- a hulladékégetők nagy mennyiségű káros gázt bocsátanak ki,
- a hulladéklerakók a felszíni és felszín alatti vízszennyezést kockáztatják,
- a biológiailag lebomló szerves hulladékok lerakásának káros üvegházhatás – gázkibocsátási következményei,
- a „látszat–hasznosítás” célú nemzetközi hulladékszállítás következményei,
- az óceánokba történő műanyag – hulladékok elhelyezése,

felhívták a figyelmet, hogy nemzetközi és globális intézkedéseket igényelnek a hulladékkezelési kérdések.

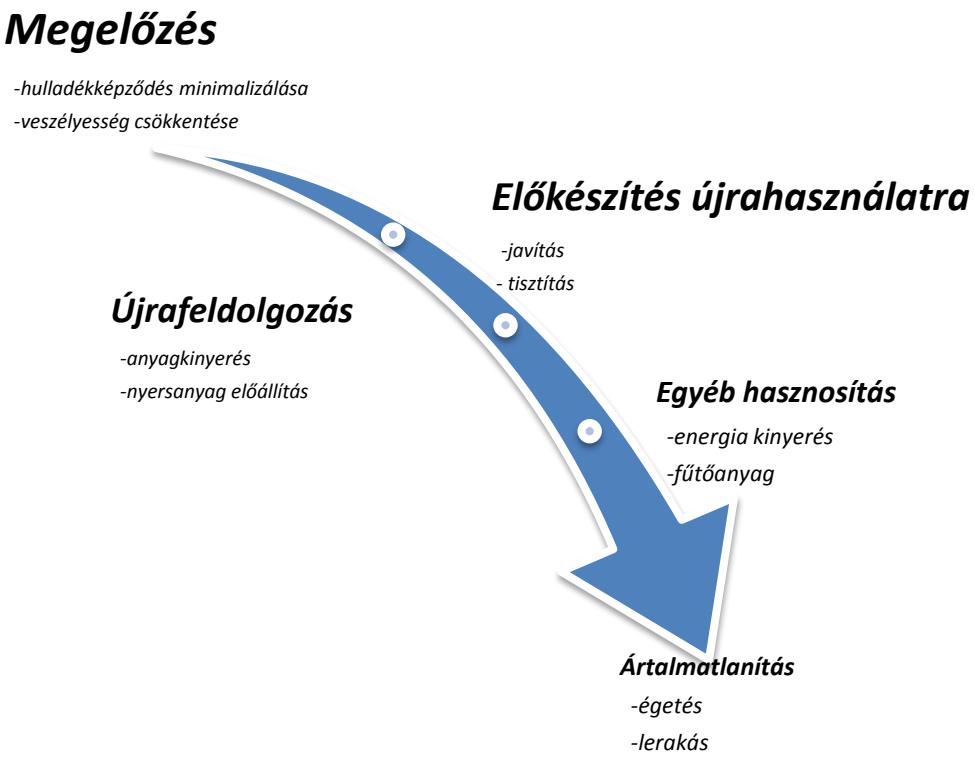
A fenntartható fejlődés egyik alapvető eszköze a tervszerű és hatékony hulladékgazdálkodás. A hulladékokban rejlő újrahasznosítható anyag nagy része kinyerhető, amely alapanyaggá, illetve új termékké történő átalakítására lehetőség nyílik, és ez a folyamat további új munkahelyek létrejöttét idézi elő. A fenntartható fejlődés leghatékonyabb eszköze a hulladékmegelőzés, azaz a gyártástechnológia olyan fejlesztése, amely képes a veszélyes anyagok mennyiségének csökkentésére, illetve kiváltására – azaz a termelési folyamat egészére a hulladékszegénység jellemző.

Hazánk EU–hoz történő csatlakozása következtében a hulladékképződés területén megfogalmazott célok teljesítése már nem csak hazai feladat, hanem EU–s elvárás is:

- a keletkező hulladék mennyiségének csökkentése új megelőzési stratégiákkal,
- a források jobb kihasználtsága,
- a fenntartható fogyasztói szokások megfelelő át/alakítása.

Külföldi példaként az interneten található irodalom [2] az Egyesült Királyság területére fogalmaz meg stratégiákat, előnyöket és teendőket a fenntartható fejlődés érdekében, ahol környezeti és gazdasági előnyök is helyet kapnak.

A Ht. alapját a hulladékhierarchia rendszere képezi. A rendszer alapján a hulladékgazdálkodási tevékenység folytán elsőbbséget kell biztosítani egy meghatározott sorrend alapján. A sorrend öt elemet tartalmaz, melyek közül az első szint a hulladékképződés megelőzése, a hierarchia alján pedig az ártalmatlanítás foglalja el a helyet (2.1. ábra).




***2.1. ábra: Hulladékkezelés prioritási szintje*** [1]

**Hulladékképződés megelőzésének lehetőségei:**

A megelőzés az anyag vagy termék hulladékká válását megelőzően hozott olyan intézkedés, amely csökkenti:

- a hulladék mennyiségét, többek között a termékek újrahasználata vagy a termékek élettartamának meghosszabbítása révén,
- a képződött hulladék környezetre és emberi egészségre gyakorolt káros hatásait, vagy,
- az anyagok és a termékek veszélyes anyag tartalmát.

[1] Forrás: www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Hulladekgazdalkodas/ch01s02.htlm

**Hulladék újrahasználatra történő előkészítése:**

Az újrahasználatra történő előkészítés tisztítással, javítással, valamint ellenőrzéssel végzett hasznosítási művelet, amelynek során a hulladékká vált terméket vagy alkatrészét előkészítik arra, hogy bármilyen egyéb előkezelés nélkül újrahasználható legyen.

**Hulladék újrafeldolgozása:**

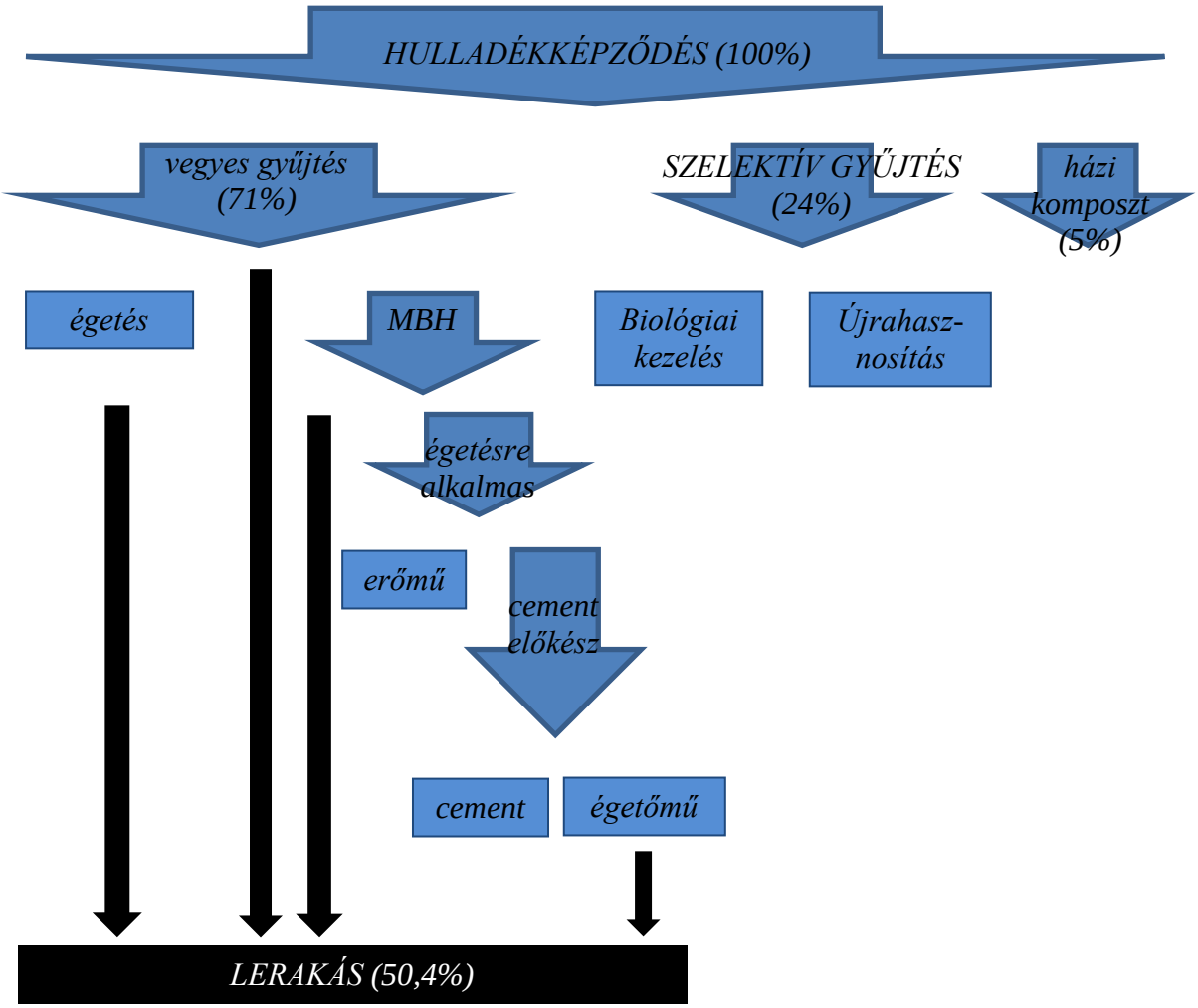
Az újrafeldolgozás során a hulladékot annak eredeti használati céljára, vagy más célokra termékké vagy alapanyaggá alakítják át.

**Hulladék egyéb hasznosítása:**

Jelenleg a hulladék energetikai hasznosítása tartozik ide, az energetikai hasznosítás során felszabaduló égéstermékek határértékei révén került szabályozásra. Az égéstermékek tekintetében történő szabályozás nem tekinthető elegendőnek a környezet védelme szempontjából, ezért az energetikai hasznosításra felhasználható hulladék beltartalmára vonatkozó határértékek meghatározása is szükséges.

**Hulladék ártalmatlanítása:**

Ártalmatlanításnak minősül a hulladéklerakás, a hulladékégetés és a kémiai ártalmatlanítás. A hulladékkezelés folyamatábrája alapján elmondható, hogy a hulladékképződés kb. 24%-át szelektív gyűjtés útján vagy biológiailag kezelik, vagy újrahasznosítják. Ez az arány is tükrözi a szelektív hulladékgyűjtés fontosságát (2.2. ábra). Fontos kihangsúlyozni, hogy a helytelen hulladék–ártalmatlanítási folyamat során is keletkezhetnek káros anyagok, mellyel Bogner és társai [3] foglalkoztak. A publikáció a hulladékkezelés különböző eljárásaiból (tárolás, égetés) származó üvegházhatású gázok termelődésének feltételeit, mennyiségeit vizsgálja és hasonlítja össze, továbbá azok csökkentésére ad javaslatot.




***2.2. ábra: Hulladékkezelés folyamatábrája***[2]

Samiha Bouanin [4] cikkében környezetvédelmi fejlesztésről olvashatunk, ahol a gazdasági és technológiai fejlődés következtében Kínának a települési szilárd hulladék (TSZH) következményeként létrejövő környezetszennyezéssel kell szembenéznie. A TSZH Kínában évente 8–10%–kal növekszik, már 2010–ben elérte a 180 millió tonnát. Kína jelenleg a hulladékégetés (hulladékból energia) fejlesztésével próbálja csökkenteni a hulladéktárolást. A 12. ötéves tervben (2011–2015) a becslések szerint a kínai kormány környezetvédelemre 3,1 trillió Yuan–t, míg települési szilárd hulladék kezelésére 280 billió Yuan–t fordít. A mű célja a kínai TSZH magas szintű, különböző kezelési lehetőségeinek bemutatása, ezzel elérve a környezet minőségének és az életkörülmények javulását. Az irodalom alapján a szilárd hulladék mennyisége csökken, mivel Kínában egyre elterjedtebb a csökkentés, az újrahasználás és újrahasznosítás gondolata.

[2] Forrás: www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Energetika/ch05.html

A Geng és társai [5] komoly figyelmet szentelnek az ipari parkok számára, miszerint a szilárd hulladék (SZH) kezelése nagy kihívást jelent az ipari parkoknak a nagy mennyisége és változatos minősége miatt, így a belső kezelés kritikussá vált az ipari parkok fenntartóinak. Ehhez a források átfogó ellenőrzésére, a hulladék csökkentésére, újrahasználására és újrahasznosítására van szükség, melyeknek bevezetése mind gazdasági, mind környezetvédelmi előnyökkel jár. Ezen dolgozat egy valós tervezési folyamatot részletez Kínában: először az alapvető információkat mutatja be a Tianjin Economic Development Area (TEDA) ipari parkról, majd a jelenlegi SZH kezelés eljárásait ismerteti. A dolgozat fő célja egy integrált SZH kezelő rendszer tervezése a TEDA–ban. Az előnyök és kihívások ismertetésre és elemezésre kerülnek, így ezek további ipari parkok fejlesztésénél is a fejlesztők segítségére lehetnek.

A Dong és társai [6] a kínai TSZH termelődésének és összetételének vizsgálatát mutatja be. Ismertetésre kerül a jelenlegi TSZH gazdálkodási rendszer, a gyűjtés, elkülönítés, újrahasznosítás és megsemmisítés során felmerülő hibák, valamint a rendszer javítására irányuló lehetőségek vizsgálata. Kínában az urbanizáció, a népesség és az iparosodás fokozódásával a TSZH termelődésének mennyisége nő (31,3 millió tonnáról 212 millió tonnára 1980–tól 2006–ig). A TSZH túlnyomó része magas szervesanyag és nedvességtartalmú, mivel nagyjából 60%–a konyhai hulladék. 2006–ban a TSZH 91,4%–a hulladéktárolóban került elhelyezésre, míg 6,4%–át elégették, 2,2%–a pedig komposztelepekre került.

## 2.2. Csomagolóanyagok jellemzése

„A csomagolóanyag olyan termék, amelyet a termelő, a felhasználó vagy a fogyasztó áruk (a nyersanyagtól a feldolgozott áruig) befogadására, megóvására, kezelésére, szállítására és bemutatására használ, ideértve az ugyanilyen célra használt egyszer használatos terméket is” [7].

Csomagolás csoportosítása:

- fogyasztói (elsődleges) csomagolás,
- gyűjtő– (másodlagos),
- szállítási (harmadlagos) csomagolás.

Szakkifejezések a csomagolás kezelésére:

- hasznosítás (recovery),
- hasznosítható csomagolás (recoverable packaging),
- anyagában való hasznosítás (recycling),
- anyagában hasznosítható csomagolás (recyclable packaging),
- üres csomagolás (empty packaging),
- visszaadható csomagolás (returnable packaging),
- újrahasználat (reuse),
- újratöltés,
- újrahasználható csomagolás (reusable packaging),
- körforgás (rotation),
- ugyanazon célra használt csomagolás (packaging used for the same purpose),
- újrahasználati rendszerek (systems for reuse),
- egyutas csomagolás (one–way packaging).

## 2.3. Hulladékok csoportosítása

„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, amely 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 szelektív hulladékgyűjtő szigeteken elhelyezett PET palackok 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.” [56]

## 2.4. A lakossági szelektív hulladékgyűjtéssel kapcsolatos előírások

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

- 1999/31/EK direktíva, 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 [7],
- 94/62/EK direktíva a csomagoláshoz használt anyagokról, mely meghatározza a csomagolási hulladékok hasznosítási arányát [8],
- 2006/12/EC direktíva a hulladékokról [9].

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 [10],
- a 2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról [11],
- 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 [8],
- a 20/2006(IV.5) KvVM rendelet a hulladéklerakással foglalkozik, rögzíti a hulladéklerakókkal kapcsolatos szabályokat, illetve csoportosítja őket a bennük elhelyezhető hulladékok típusa szerint.” [12]

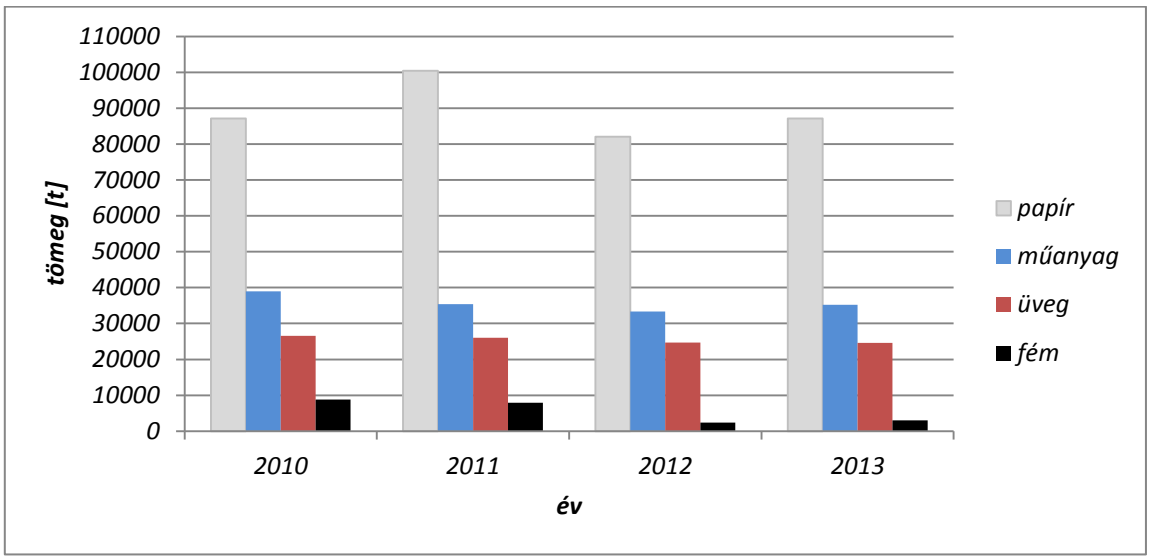
## 2.5. A szelektív hulladékgyűjtés fontossága

A hulladékkeletkezés és kezelésének területén a statisztikai adatokat tanulmányozva megfigyelhető, hogy a hulladék mennyiségének csökkenése mellett az anyagában hasznosítás növekvő tendenciát mutat. A szelektív hulladékgyűjtés növekedése több oknál fogva is előtérbe került, mely a lakosság gondolkodási módjának, a hulladékgyűjtés díjának, és az új hulladékgyűjtési rendszernek köszönhető.

| | Hulladék mennyiség | Anyagában hasznosítás | | Energetikai hasznosítás | | Égetés | | Lerakás | | Egyéb | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| évek | ezer tonna | ezer tonna | % | ezer tonna | % | ezer tonna | % | ezer tonna | % | ezer tonna | % |
| 2004 | 30 045 | 9 087 | 30,2 | 911 | 3,0 | 170 | 0,6 | 17 416 | 58,0 | 2 461 | 8,2 |
| 2005 | 28 558 | 7 832 | 27,4 | 1 271 | 4,5 | 53 | 0,2 | 13 603 | 47,6 | 5 799 | 20,3 |
| 2006 | 26 607 | 6 698 | 25,2 | 1 627 | 6,1 | 101 | 0,4 | 13 594 | 51,1 | 4 587 | 17,2 |
| 2007 | 25 858 | 5 341 | 20,7 | 1 355 | 5,2 | 78 | 0,3 | 11 326 | 43,8 | 7 759 | 30,0 |
| 2008 | 22 647 | 6 142 | 27,1 | 765 | 3,4 | 65 | 0,3 | 9 563 | 42,2 | 6 112 | 27,0 |
| 2009 | 19 758 | 4 584 | 23,2 | 787 | 4,0 | 75 | 0,4 | 8 536 | 43,2 | 5 777 | 29,2 |
| 2010 | 18 621 | 5 682 | 30,5 | 824 | 4,4 | 160 | 0,9 | 7 475 | 40,1 | 4 480 | 24,0 |
| 2011 | 18 596 | 5 002 | 26,9 | 822 | 4,4 | 91 | 0,5 | 8 579 | 46,1 | 4 101 | 22,0 |
| 2012 | 15 166 | 6 721 | 44,3 | 993 | 5,5 | 80 | 0,5 | 6 978 | 46,0 | 395 | 2,6 |

***2.1. táblázat: Hulladék keletkezésének és kezelésének értékei az évek függvényében[3]***

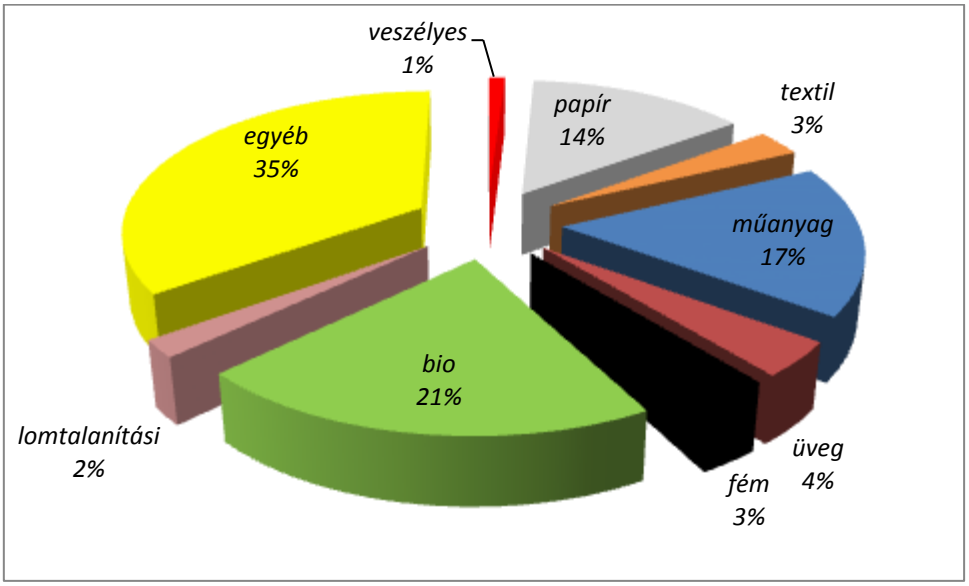
A különböző szelektíven gyűjtött lakossági hulladékok összetételének arányában nem tapasztalható jelentős változás az évek során. A statisztikai adatokat tanulmányozva jelentősnek mondható az egyes anyagok szelektíven történő gyűjtése és továbbkezelése (2.3. ábra).




***2.3. ábra: Szelektíven gyűjtött anyagok mennyiségének alakulása az évek során4***

[3] Forrás: www.ksh.hu
[4] Forrás: www.ksh.hu

Az egyes településeken vegyesen gyűjtött települési hulladék összetételének vizsgálata során a négy fő szelektíven gyűjtött hulladék aránya kb. 40%–ot ér el, amely magas aránynak tekinthető (2.4. ábra).




***2.4. ábra: A vegyesen begyűjtött települési hulladék szabvány szerint mért átlagos összetétele[5]***

Ezen adatok vizsgálata alapján a szelektív hulladékgyűjtés fontossága a lakosság együttműködése alapján kiemeltként kezelendő, ezzel is csökkentve az újrahasznosítható anyagok megsemmisítését/lerakását.

**Kétkannás gyűjtési rendszer ismertetése**

„A magyarországi és az uniós előírások megkövetelik, a biológiailag lebomló – komposztálható – hulladékok lerakásra kerülő mennyiségének csökkentését, valamint a hulladékok szelektív gyűjtési arányának növelését. A hulladékszállítás ezen követelményeknek való megfeleltetésének egy lehetséges megoldása a „kétkannás gyűjtési mód” bevezetése. Ennek az új gyűjtési módnak a lényege, hogy a háztartásokba, az eddigi gyűjtőedény mellé egy komposztálóedényt is kihelyeznek, melybe a keletkező komposztálható hulladékot kell gyűjteni. A „hagyományos” edénybe pedig a nem komposztálható és szelektív gyűjtésre sem alkalmas hulladékot kell gyűjteni.

Így a lakossági kommunális hulladékgyűjtésben alkalmazott egy gyűjtőedényes rendszert a kétkannás gyűjtés váltja fel, mely külön edény biztosítását jelenti a lakosságnál képződő

[5] Forrás: www.ksh.hu

komposztálható biohulladékoknak. A kétkannás ügyfélrendszerrel együtt bevezetésre kerül az elektromos ügyfélazonosító, vonalkódos rendszer, mely biztosítja, hogy az ügyfél (lakosság, illetve intézmény) a ténylegesen elszállított hulladékmennyiség után járó díjat fizeti meg. A díj egy alapdíjból és az elszállított edény darabszáma alapján kerül meghatározásra. A szelektív hulladékok ilyen edénybe történő elhelyezése nagy térfogatot –pl. kevésbé tömörített PET palack– venne igénybe, ezzel is visszaszorítva a helytelen gyűjtést a lakosság körében.

**A szelektív hulladékgyűjtés tapasztalatai**

A szakmai tapasztalatok azt mutatják, hogy a gyűjtési módszerek sorrendje a begyűjtés eredményessége szempontjából a következő:

1. zsákos módszer,
2. gyűjtősziget,
3. hulladékudvar.

A zsákos módszer előnye, hogy a szelektív gyűjtési lehetőség „helyben” adott, a lakosnak így kerül a legkisebb erőfeszítésébe a külön gyűjtés. A gyűjtőszigetet azért lehet hatékonyabbnak nevezni, mint a hulladékudvart, mert a gyűjtőszigetek jól megközelíthető helyeken találhatók, a lakosok számára jobban elérhetőek, mint a hulladékudvarok. Ez utóbbiak ritkábban helyezkednek el, a lakosok inkább a nagyobb mennyiségben összegyűjtött hulladék leadására veszik igénybe és hulladékukat általában gépkocsival szállítják ide.

Ahhoz, hogy a szelektív hulladékgyűjtés révén megvalósuljon a hulladékok egy részének hasznosítása, az is szükséges, hogy a lakosság és a termelők által szelektíven gyűjtött hulladék további előkezelés során olyan minőségű (tisztaságú) legyen, hogy a feldolgozó ipar képes legyen magas használati értékű terméket gyártani abból.

A szelektív hulladékgyűjtés legeredményesebb megoldása a lakosság partnersége esetén a gyűjtési módszerek megfelelő kombinációjával érhető el. Egyetlen lehetséges eszköz használata vagy módszer alkalmazása sem képes önmagában a probléma megoldására.

A lakossági szelektív hulladékgyűjtés lehetősége egyre szélesebb körben válik elérhetővé, elsősorban a papír, műanyag, üveg, illetve fém frakciók esetében, leginkább a csomagolási hulladékokra – köszönhetően a gyártói felelősségbe tartozó hasznosítási kötelezettségeknek, valamint az EU támogatással megvalósuló települési hulladékkezelési rendszereknek. A szelektív hulladékgyűjtésbe a lakosság 68%–ának van módja bekapcsolódni. A bevont

lakosság legnagyobb része (57%) hulladékgyűjtő szigeteken keresztül kapcsolódik a rendszerbe, míg kisebb részüket (6–7%) házhoz menő gyűjtéssel vonják be. A hulladékudvarokon történő szelektív gyűjtésre 2008–ban 52 településén volt lehetőség, összesen 81 hulladékudvaron (a települések lakosságszáma több mint 3,5 millió, de a gyakorlatban ennek kb. 10%–a tekinthető ténylegesen elérhetőnek). A közszolgáltatások keretében működő szelektív gyűjtési rendszerekből az anyagában hasznosított települési hulladéknak alig több mint 10%–a származik.

A települési szilárd hulladékok esetén a hasznosítás aránya az elmúlt években jelentősen növekedett, köszönhetően a szelektív hulladékgyűjtés terjedésének, az elkülönített biohulladék–kezelés növekedésének, valamint az egyes, gyártói kötelezettségbe tartozó csomagolási, elem–akkumulátor és elektromos berendezés hulladékok hasznosítási kötelezettségeinek.

**Szelektív hulladékgyűjtő szigetek jellemzése**

A települési hulladékkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről szóló 213/2001. (XI. 14.) Korm. rendelet meghatározása szerint a hulladékgyűjtő sziget (gyűjtősziget): a háztartásokban keletkező, hasznosításra alkalmas, különböző fajtájú, elkülönítetten gyűjtött, háztartási hulladék begyűjtésére szolgáló, lakóövezetben, közterületen kialakított, felügyelet nélküli, folyamatosan rendelkezésre álló begyűjtőhely, szabványosított edénnyel.

A lakóházak közelében, ill. közterületeken kialakított gyűjtőhelyek (gyűjtőszigetek) esetében fontos a gyűjtőedény zárhatóságának biztosítása, a hulladékalkotók beürítéséhez könnyen hozzáférhető beürítő lehetőségekkel való ellátása, a közterületi funkciók zavartalanságának biztosítása, az esztétikus és környezetbe illeszkedő, de figyelemfelkeltő (színezés, felirat stb.) kivitel, az időjárás–állóság, a szándékos rongálás elleni védelem, valamint a gyűjtőjárművek számára a jó megközelíthetőség. A minél egyszerűbb, gazdaságosabb műszaki megoldásokra kell törekedni.

A gyűjtőszigetek előnyös telepítési helye a lakóövezeteken kívül a kereskedelmi egységek parkolói. Ezek a gyűjtőszigetek őrzés nélkül üzemelnek. A ráhordás esetén célszerű azzal a ténnyel is számolni, hogy az gyalogos formában is történhet, ezért a ráhordási távolság legfeljebb 200 méterre tervezhető. Az ürítés és edénycsere gyűjtő–szállító célgépekkel valósul meg. A gyűjtőszigeteken biztosítani kell a papír, a színes és fehér üveg, valamint az alumínium italos dobozok szelektív gyűjtését, amely kiegészíthető műanyag, esetleg

textilhulladék elkülönített gyűjtésével. A gyűjtősziget engedélyezése önkormányzati hatáskör, szakhatóságok bevonása nem szükséges, védőtávolság nincs. A gyűjtőeszközök (edény) megválasztásánál a mai meglévő edény felhasználásával, annak kiegészítéseként ajánlatos az új típusú edényrendszert kialakítani. A gyűjtőszigetek nyitott, térburkolattal ellátott területek, célszerűen – lehetőség szerint – védősövénnyel és három oldalról korláttal körülvéve. A kialakítást meghatározza a gyűjtősziget konkrét helye. Célszerűen kialakított beton, térbeton burkolat, a termőföldre (talajra) helyezett kavicságyazat felett. Műanyag gyűjtőedényekben történik a hasznosítható összetevők gyűjtése.

A gyűjtőszigetek a települések központi helyein létesülnek, átlagosan 800–1000fő/sziget sűrűséggel. Funkciójuk, hogy az újrahasznosítható csomagolási hulladékok visszagyűjtésével csökkenjen a szeméttelepeken lerakott hulladék mennyisége. A szelektív gyűjtőszigeteken általában négy edény található, melyek papír, műanyag, üveg és fém csomagolási hulladékok elhelyezésére alkalmasak.

Az edények különböző színnel vannak ellátva, melyek a könnyebb szelektálást teszik lehetővé a lakosság számára. A kék jelzésű edénybe olyan papír alapú hulladékokat dobhatunk, mint az újságpapír, kartonpapír, füzet, csomagolópapír. A sárga színű tárolóba a műanyag hulladékok – üdítős palackok (PET), műanyag poharak, reklámtáskák, fóliák, műanyag kupakok kerülnek elhelyezésre. Az üveg tárolóedény jelzése a zöld szín, melybe színes és fehér üveget is dobhatunk, mint például üvegpoharat, befőttes üveget és italos üveget. A szürke jelzésű fém tárolóba konzervdobozokat, alufóliát, alumínium italos dobozokat tehetünk.” [1]

## 2.6. A szelektív hulladékgyűjtés alapjai – a fejezet összefoglalása

Hazánk EU–hoz való csatlakozása során a szelektív hulladékgyűjtés fontossága nem csak hazai fontosságú, hanem már Európai szintű. Az előírásokat olvasva a hulladék csökkentése mellett a szelektív hulladékgyűjtést, azaz az újrahasznosítás fontosságát elemlik ki. A statisztikai hivatal által gyűjtött és feldolgozott adatok alapján a négy fő – üveg, papír, fém, műanyag – szelektíven gyűjtött anyag, a vegyesen begyűjtött települési hulladék szabvány szerint mért átlagos összetétele alapján kb. 40%–ot tesz ki. Ez az érték eléggé magasnak mondható, és ennek alapján nagy jelentősége van a szelektív hulladékgyűjtésnek, illetve e területen történő fejlesztéseknek. Guilberto Borongan és társa [13] a lakossági hulladék jelenlegi helyzetét és problémáit vitatja és mutatja be 14 délkelet–, és kelet–ázsiai országban. A szempontok között található a hulladék-keletkezés, összetétel, irányelvek és szabályok,

gazdasági eszközök és jelenlegi gyakorlatok a lakossági hulladék-kezelési stratégiákban. A dolgozat felvet továbbá javaslatokat és irányelveket a kollektív regionális cselekvés érdekében a lakossági hulladék helyzetére és problémáira.

A municipal solid waste management: strategies and technologies for sustainable solutions [14] cikk alapján, a TSZH kezelésének módja nagyban meghatározza annak hatását a helyi–, illetve globális környezetre. A TSZH kezelésére új technológiákat fejlesztenek, mind a nyersanyagok és energia visszanyerésére, mind a végső biztonságos megsemmisítésre. A fenntartható hulladékgazdálkodás szempontjából kulcsfontosságú a technológiák teljesítménye, azok társadalmi elfogadottsága és a gazdasági realitása. Ez a publikáció egy áttekintést ad a meglévő hulladékgazdálkodási lehetőségekről, valamint az új fejlesztésekről.

# 3. A hulladékgyűjtéssel kapcsolatos szakirodalom áttekintése

## 3.1. Külföldi szakirodalom áttekintése

Zhu Minghua és társai [15] tanulmányukban (Pudong tartományban Kína) a növekvő hulladék mennyiségéről számolnak be, és javaslatokat tesznek a probléma csökkentése érdekében. A műből kiderül, hogy a területen nem alkalmaznak szelektív hulladékgyűjtést. A hulladékgyűjtés magas költségét speciális módon csökkentik, azaz kis kapacitású járműveket alkalmaznak, melyek automata tömörítő egységgel rendelkeznek, és a hulladékot egy átrakó–tömörítő DEPÓ-ba helyezik el. A tömörített hulladékot ezután egy horgos zárt konténerbe töltik, melynek végső állomása a különböző módú megsemmisítés.

A hulladékkezelés folyamata a következő:

1. hulladékgyűjtés edényekbe,
2. hulladékgyűjtés járművel,
3. hulladék elhelyezése átrakó–tömörítő DEPÓ-ba,
4. hulladék megsemmisítése.

A tanulmány ismerteti a begyűjtés hatékonyság növelésére tett kísérletet, amely szerint a kb. 200 teherautóból álló hulladékgyűjtő flottát GPS–szel szereltek fel, melynek következtében a teherautók útvonala csökkent, így üzemanyagot takarítottak meg. Fontos megemlíteni, hogy a szerzők nagy hangsúlyt fektettek a fejlesztés egyik fő irányára, mégpedig a szelektív hulladékgyűjtés bevezetésére.

Chuanbin és társai [16] cikkükben a háztartásokban keletkezett szelektív hulladékgyűjtés fontosságát hangsúlyozták ki, mely során a vizsgált 76 háztartásban 87%–kal sikerült az inhomogén hulladék mennyiségét csökkenteni. – A vizsgált területen már a hulladék-keletkezés helyszínén sikerült a hulladékot megfelelően szelektálni.

A következő szerzők, Shuang és társai [17] az inverz logisztikát fejlesztették. A fejlesztés során nem csak a begyűjtéssel foglalkoztak, hanem az optimális gyűjtőhelyek kialakításával is, mely során további költségcsökkentést értek el.

Fejlett mérő és kommunikációs eszközt alkalmaz F. Vicentini és társai [18] munkájában a kommunális edénybe elhelyezett hulladék tömegének és térfogatának mérésére. A kutatás–

fejlesztési munka során az edény egy hosszútávú (GSM) kommunikátorral lett felszerelve és az edény nyitása–zárásakor a hulladék paraméterei vizuális formában is rögzítésre kerülnek. A munka során 240l–es lakossági edényeket alakítottak át – mérőrendszer integrálásával – az elhelyezett hulladék paramétereinek méréséhez. A két valós körülmény között tesztelésre került edény működőképességének bebizonyítása volt a cikk fő közlendője. További munkájuk alapján [19] a rendszer adatainak megtekintéséhez csak jogosultsággal rendelkező személy léphet be a rendszerbe, az adatok nem publikusak – zárt rendszerben maradnak.

Byung–In Kim, Seongbae Kim, Surya Sahoo [20] tanulmányukban a hulladékgyűjtés területén idő–ablakokat alkalmaznak a fejlesztés érdekében. Gráfokat és algoritmusokat ismertetnek az optimalizálást szem előtt tartva és az alábbi négy fő célt fogalmazták meg a szerzők:

- a járműpark minimalizálását,
- a begyűjtési idő minimalizálását,
- a begyűjtés maximalizálását és
- a járművek leterheltségének azonos szinten tartását.

Releváns szempontok közé helyezték a szerzők a jármű kapacitását, és a maximális edény ürítés számát, illetve a járműre üríthető teher maximumát. A kutatás–fejlesztés alapján a szerzők közel 10%–os megtakarításról számolnak be a teljes begyűjtési útvonal területén, ami azt jelenti, hogy 10db 9 órás járműfordulóról sikerült 9db 9 órás járműfordulásra csökkenteni a begyűjtés folyamatát. Ez az eredmény szignifikáns, hiszen számításuk szerint éves szinten a vizsgált területen a hulladékgyűjtés 984 fordulóval kevesebbet igényel, ami 18 millió dollár költségcsökkenést eredményez.

A.M. Benjamin, J.E. Beasley [21] különböző algoritmusokat felhasználva vizsgálták az előző mű [20] további optimalizálását. Az eredmény alapján még további 5%–os útvonalcsökkentés tudtak kimutatni a vizsgált területre.

Baldacci, R., Bartolini, E., Mingozzi, A., & Valletta, A. [22] cikke olyan algoritmus alkalmazásáról szól, amely a bonyolult és összetett folyamat egyszerűsített modellezésére alkalmazható. Egy idővonalon meghatározza a különböző napok és a megfelelő kombinációk hozzáadásával a szállítások adatait (út, készlet) a mindennapi tervezési periódusokban.

Teemu Nuortio, Jari Kytöjoki, Harri Niska, Olli Bräysy [23] magas szintű modellt definiált a hulladékgyűjtés területére, melyhez hat input adatot kell definiálni. Az INPUT adatok közé tartozik az edényre jellemző adatok, mint például: GPS koordinátái, azonosítója, hulladék fajtája, hulladék térfogata, hulladék tömege. További adatok szükségesek a járműről, a begyűjtési időkorlátról és az eljutási mátrixról.

A szerzők az ürítésre kerülő edényeket két csoportra osztják. Az egyik fajta edénytípusok a kiemelt fontosságúak közé tartoznak, tehát gyakori ürítést igényelnek, a másik csoportba pedig a „maradék" edények kerülnek, amelyeknél normál gyakoriságú ürítést célszerű alkalmazni. Átlagos esetben az ürítési trend nincs követve, ezért az összes edény azonos ürítési prioritással rendelkezik, de a szerzők szerint a trend ismerete alapján különböző ürítési prioritást lehet megadni az egyes edényeknek. A kutatás–fejlesztés eredményét Matlab környezetben szimulálva átlagosan 12%–os megtakarítást tudtak kimutatni.

További szakirodalmat tanulmányozva a Surya Sahoo, Seongbae Kim, Byung–In Kim, Bob Kraas és Alexander Popov Jr. [24] cikkében a domináns cél – útvonal optimalizálás – kihangsúlyozása mellett fontos gondolatokra térnek ki, mégpedig a biztonságra, pontosabban a közlekedésbiztonságra és arra, hogy a hulladékgyűjtés levegő és zajszennyezést produkál, melyre kiemelt figyelmet kell fordítani.

Dang Vu Tung és Anulark Pinnoi [25] által szerkesztett cikkben különböző algoritmusokat vizsgálnak a hulladékgyűjtés hatékonyságának növelése érdekében Hanoiban (Vietnám).

C Garce, S Alberto és társai [26] tanulmányukban elemzik a lakossági háztartási hulladék szelektív válogatásának mértékét. A vizsgálatuk alapján elmondható, hogy a lakóhelytől minél távolabb elhelyezkedő szelektív hulladékgyűjtő edénybe egyre ritkábban jutnak el a szelektált hulladékok, azaz még a környezettudatos lakos szelektív háztartási hulladéka sem ér el a szelektív edényhez az alacsony szolgáltatási színvonal miatt.

A cikkben több fontos tényező mellett kiemelt jelentőségű a jármű kapacitásának vizsgálata, továbbá a hulladékgyűjtést végző cég kötött járattervének elhagyását is célszerűnek tartják a szerzők. A számítógépes szimulációk során napi kb. 5%–os költségcsökkenést kaptak eredményül, ami jelentősnek mondható a vizsgált területen.

A Routing Optimization for Waste Management [27] cikkben, melynek Surya Sahoo, Seongbae Kim és Byung–In Kim a szerzői, Texas hulladékgyűjtését mutatják be példaként,

mégpedig annak jelentőségét, óriási méretét, illetve a magas hulladékgyűjtési költséget – 120 000dollár/jármű/év.

A szerzők az alábbi célokat fogalmazták meg:

- a járműpark minimalizálását,
- az útvonalhossz minimalizálását,
- a hatékonyság maximalizálását,
- az azonos járműleterheltséget.

Véleményük szerint szem előtt tartandóak az alábbiak:

- megállás és DEPÓ időablakai,
- a jármű kapacitása (tömeg, térfogat),
- a begyűjtési útvonalon elhelyezkedő hulladék kapacitása,
- begyűjtési időlimit járművekre,
- a jármű telítettsége esetén szükséges ürítési idő (visszatérés, ürítés a DEPÓban),
- a gépjárművezető ebédidője.

A szerzők kutatása alapján a költségcsökkentés területén a hulladékgyűjtő jármű által bejárt területek optimális felosztásával 10%–os megtakarítás érhető el.

A cikket olvasva a költséghatékonyság mellett kiemelik a szerzők az optimalizálás pozitív hatását a környezetvédelemre, mely szerint csökken a jelentős környezetterhelő hatása a hulladékgyűjtő járműnek a károsanyagkibocsátás és zajszennyezés területén. További előnyként a közlekedésbiztonság is megemlítésre kerül, amelynek szintén nagy jelentőséget tanúsítanak.

O. Apaydin, M. T. Gonullu [28] művükben az optimalizálás lehetőségét vizsgálva három célt fogalmazott meg:

- képrögzítés alkalmazása a hulladékgyűjtés analizálásra,
- GIS adatbázis felállítása,
- az alkalmazott és optimalizált begyűjtés összevetése költségvizsgálat szempontjából.

A hulladékgyűjtés pontos vizsgálatára videokamerával felszerelt jármű begyűjtési, szállítási és DEPÓ-ba elhelyezési folyamatát analizálták a pontosabb adatgyűjtés érdekében. A begyűjtött adatok GIS adatbázisba kerültek feltöltésre. Az ilyen jellegű analizálás során

definiált útvonal alkalmazását követően kb. 25%–os költségcsökkenési lehetőségről számolnak be a szerzők.

Dardas és társai [29] művükben szintén a GIS technológia alkalmazásának fontosságát hívják fel a problémás hulladékkezelés megoldása érdekében. A Chung és társa által [30] szerkesztett mű három dél–kínai város közösségének hulladék minimalizálásához és újrahasznosításához, valamint a New Environmental Paradigm (NEP) elgondolásához történő hozzáállását vizsgálja. Ez utóbbi szerint a Föld ökoszisztémáját és készleteit nem az emberiségnek alárendeltként kéne tekinteni, hanem saját jogokkal rendelkezőnek. A három város az urbanizáció különböző szintjeit reprezentálja Guangdong provinciában. A vizsgálat eredménye azt mutatja, hogy mind vidéki, mind városi közösségek esetén egyre növekvő lelkesedéssel működik a szelektív hulladékgyűjtés a visszaváltható hulladékokért kapott térítésnek köszönhetően, így a törvényhozóknak nem azon kellene gondolkodniuk, hogy a közösség képes–e a szelektív hulladékgyűjtésre hanem, hogy hogyan lehet motiválni őket és, hogy milyen eszközökkel lehet egy hatékony újrahasznosítható hulladék–piacot fenntartani.

A Chang és társai [31] által szerkesztett műben a TSZH kezelés rendszerelemzése – annak különböző kezelési stratégiáinak koordinációinak komplexitása miatt – mind gazdasági, mind környezetvédelmi tervezők által központi figyelmet kap. Ez a publikáció egy működő, hierarchikus megközelítésű TSZH kezelési modell fejlesztésével és használatával foglalkozik, melyben a szállító állomások elhelyezése egy nagyméretű városi környezetben két különböző szintre van bontva. Ez az analitikus megközelítés magába foglal egy előzetes felmérést a Geographical Information System (GIS) segítségével, valamint egy optimalizációs vizsgálatot vegyes programozási modellel. A lehetséges kezdeti területek kijelölése négy kritérium alapján történik, valamint a TSZH összegyűjtésének, újrahasznosításának, kezelésének és megsemmisítésének optimalizálása segít a költségek minimalizálásában. Egy taiwan–i esettanulmány bemutatja, hogy a szállító állomásoknak optimális elhelyezése sikeresen csökkentheti a teljes költséget.

M.F. Badran és társai [32] a kutatási metódusok használatát ismertetik a szilárd hulladék kezelési rendszerek optimalizálásában, az egyiptomi Port Said városi szilárdhulladék kezelés területén. A hulladékgyűjtés rendszerének modelljére tesz javaslatot, mely magában foglalja a gyűjtőállomások vizsgálatát is. A javasolt rendszer vegyes programozással készül és a számítást szoftver segítségével végzi. A végeredmény szerint 27 darab 15tonna/napi kapacitású, valamint 2 darab 10tonna/napi kapacitású gyűjtőállomás szükséges a legjobb

modellhez. A megoldás költsége 10122 LE/nap (1716 USD), míg a profit 49655,8 LE/nap (8418,23 USD).

S. K. Srivastava [33] szerint a csomagolótermékek összegyűjtése és újrahasznosítása egyre hangsúlyosabbá válik a gazdaságban és fejlesztésben világszerte, melyet a zöld gondolkodásmód növekvő tendenciája, valamint a zöld ellátási lánc fejlődése tesz lehetővé. Irodalomkutatás, valamint 84 érintettel elvégzett informális interjú segítségével egy elméleti modell készült a költséghatékony és hatásos inverz logisztika definiálása érdekében. Ezen dolgozat egy integrált elméleti keretrendszert biztosít, amely ötvözi az ismertető jellegű modellezést a módszertani szintű optimalizálási technikákkal. Ezen felül részletes leírást ad a hálózat definiálásról és tervezésről egy, az ezen elméleti modellel készített kísérlet bemutatása során.

A Reverse logistics: the relationship between resource commitment and program performance [34] cikk közlendője, hogy a visszaküldött termékek növekvő mennyiségére válaszolva a vállalatok, az ellátási láncban visszafelé áramló termékek vezetésére irányuló programokat alkalmaznak, ebben az inverz logisztikai folyamatban. Ennek célja a költségcsökkentés, valamint a reklamáció, a visszaérkező termékek újraértékesítési vagy megsemmisítési hatásfokának növelése. A műben helyet kap az inverz logisztikába fektetett források mennyiségének összefüggése a hatásossággal. Hasonló gondolatokkal bír a következő cikk [35], mely alapján a versenyszférába tartozó cégek a profit növelését a szolgáltatás–menedzsment segítségével érhetik el, például a termék eladását követő esetleges szervízszolgáltatással, melynek a hatásossága jelentősen függ az inverz logisztikától. A műben a szolgáltatás–menedzsment, ezen belül is leginkább a szervízszolgáltatások fontossága kerül bemutatásra a versenyszférában, valamint az inverz logisztika működésének támogató szerepe a sikeres szervízszolgáltatásban. Ezen felül a dokumentum tartalmaz egy esettanulmányt, mely egy vezető gyógyászati segédeszközgyártó cég működő szerviz szolgáltatásának inverz logisztika rendszerét mutatja be, melynek célja a szervizidő, valamint a szervizköltség csökkentése.

S. Lambert és társai [36] egy inverz logisztikai döntési keretrendszert ajánlanak. Ezen keretrendszer az inverz logisztika rendszer hét fontos elemét veszi figyelembe, valamint három hierarchikus szintre osztja azt (stratégiai, taktikai és műveleti). Ezen elméleti modell vizsgálata során mind a három szint tesztelve lett különböző ipari szektorokban. Három valós eset tesztelése kerül bemutatásra, ezzel bizonyítva a keretrendszer rugalmasságát és alkalmazhatóságát.

Hung és társai [37] cikke döntéstámogatás fejlesztésről szól a TSZH területén. A tanulmány célja, hogy egy fenntartható döntéshozó modellt fejlesszen ki a TSZH gazdálkodás területén lévő hiányosságok leküzdése érdekében.

A következő publikáció [38] szerzője alapján (Rathi S.) a városi vállalat a fejlődő országokban nem képes kezelni a növekvő hulladékmennyiséget, aminek az eredménye a válogatlan hulladék megjelenése az utcákon és tereken. A mű szerint törekedni kell a fenntartható hulladékgazdálkodási rendszerre, amely igényli a környezeti, a szervezeti, pénzügyi, a gazdasági és a társadalmi támogatást.

Aye és társai [39] cikke alapján megkülönböztetésre kerül a hagyományos piacokról származó hulladék a háztartásban keletkező hulladéktól Indonéziában. A vizsgálat fontossága, hogy a piacoknál keletkezett hulladék sokkal egyöntetűbb, koncentráltabb és kevésbé veszélyes, mint a más helyről származó hulladék, így célszerű azt más módon gyűjteni és kezelni.

Beigl, P. és társai [40] által szerkesztett mű a különböző hulladékgazdálkodások összehasonlításáról szól. Alapul vették a hulladékképződést, annak gyűjtését és kezelését. A kutatás tartalmazza az ökológiai hatáselemzést, a költségek összehasonlítását, és a hulladékokból nyerhető különböző típusú anyagokat (papír, műanyag, fém, üveg).

F. Beijoco [41] Portugália, Amarsul városában végrehajtott optimalizáció eredményeképp a begyűjtési idő csökkenése mellett az üzemanyag fogyasztás területén 28%–os megtakarításról ír, míg károsanyag kibocsájtás területén eléri akár az 50%–os csökkenést is.

Salah R. Agha [42] 7–8km$^2$–es városban két hulladékgyűjtő jármű által bejárt területen kb. 24%–os bejárási útvonalcsökkenést tudott kimutatni, mellyel alátámasztotta, hogy kis területen kevés járművel is jelentős megtakarítások érhetők el.

Zotos G és társai [43] cikke alapján a politikai helyzet miatt a közigazgatás nem megfelelően működik, többek között a környezetgazdálkodást sem tudják eredményesen végezni. Ebben a tanulmányban háztartási, illetve egyéb szinten összegzik a rendelkezésre álló eszközöket, és próbálnak irányt mutatni a fejlődő hulladékgazdálkodási tervekkel.

A Yang L. és társai [44] tanulmánya abból a célból íródott, hogy létrehozza a hulladékkezelési tevékenység matematikai modelljét, ami figyelembe veszi a következő paramétereket: tudatosság, szeparált szállítás, résztvevői légkör, környezeti profit és gazdasági profit. A modell alkalmazására lehetőség nyílik más országokban és városokban.

A Multi–period reverse logistics network design [45] cikkben a logisztikai hálózat konfigurációjának problémájára keresnek megoldást. Ez egy összetett probléma, amely meghatározza az optimális helyszíneket és kapacitásokat, az ellenőrző központokat, a felújítási létesítményeket, és az újrahasznosító üzemeket. Bemutatnak egy olyan programozási készítményt, amely magában foglalja a legtöbb hálózati struktúrát a gyakorlatban.

P. J. Daugherty [46] cikkében ismerteti, hogy az egyre nagyobb mennyiségű termék visszaküldése miatt, a cégek létrehoztak egy programot, amely utat mutat az áramlások megfordítására az ellátási láncban, azaz az inverz logisztikában. Inverz logisztikai programok alkalmazása segítségével költségmegtakarítás és hatékonyságnövelés érhető el. A kutatás vizsgálja a befektetett erőforrások és az inverz logisztika program működése közti kapcsolatot. A [47] cikk szerint a bejárás folyamata jelenleg egy egyszerű folyamat alapján történik, és ezt az egyszerű pontatlan folyamatot próbálják a szerzők "rugalmassá" tenni a költségek szignifikáns csökkentésének szem előtt tartásával.

A Comparison of ecological effects and costs of communal waste management systems [48] cikkben, a hulladékgazdálkodási rendszerek révén egy életciklus–elemzést készítettek, melyhez az Ausztriában keletkezett háztartási hulladék mennyiségének, gyűjtésének és kezelésének adatait használták fel. A kapott életciklus alapján értékelték a globális felmelegedési potenciált, a savasodás potenciált, és a nettó energiafelhasználást.

Viotti, P. és társai [49] cikkükben kiemelik, hogy a hulladékgyűjtéshez optimalizált útvonalak szükségesek, ezzel csökkentve az üzemanyag – fogyasztást, illetve a jármű fenntartásából adódó kiadásokat. Az útvonalak megtervezése eddig gyakorlati tapasztalatok alapján történt, manapság azonban algoritmusok kerülnek alkalmazásra, mellyel komoly optimalizáció érhető el. A következő cikk szerzői Baldacci és társai [50] is algoritmusokról számolnak be, melyek megoldásokat adnak az útválasztási problémákra. Napi szinten megtervezik a szállítási útvonalakat, periódusokat, mely során cél az üzemanyag– költségek minimalizálása.

Nesli Ciplak [51] cikkében a fő döntéshozatali tényezők típusairól számol be, melyeket manapság a hulladékgazdálkodás terén alkalmaznak. A fő modellek: több kritérium alapján készült elemzés, költség–haszon elemzés, életciklus–elemzés. A döntések hatékonysága érdekében szükséges beállítani az egyensúlyt a környezet fenntarthatósága, a gazdasági életképesség, a szakmai megbízhatóság és a társadalmi elfogadottság között.

## 3.2. A hazai szakirodalom áttekintése

A hulladékgyűjtés területén az elszállított hulladék mennyiségétől függő díjazás bevezetésével kapcsolatosan Szilágyi L. [52] megállapítja, hogy a fizetendő díjnak hatással kell kennie a hulladék mennyiségének visszaszorítása érdekében.

Két részből álló fizetési rendszer bevezetését tartja célszerűnek a szerző, az egyik az alapdíj fizetésének alkalmazása, a másik pedig az edény ürítési díjának bevezetését. A fizetési díj a hulladékok mennyiségével kapcsolatos, és ösztönző hatással van a felhasználóra, hogy a szelektív hulladék elhelyezésére a díjmentesen használható hulladékgyűjtő szigetek felkeresését vegye igénybe.

A Dr. Hirkó Bálint által szerkesztett könyv [53] átfogóan vizsgálja a logisztikai folyamatokat, pontosabban az elosztási logisztikai folyamatokat. Felsorolja az egyes járatfajtákat, ismerteti a járattervezési módszereket, melyek közül kiemelt fontosságú a megtakarítási (savings) módszer. A könyvben további módszerek is kihangsúlyozásra kerülnek, melyek a kereskedelmi forgalomban kapható szoftverek algoritmusaként szerepelnek. További publikációjában [54] felhívja a figyelmet a megfelelő méretű "időablak" alkalmazására.

Prof. J. Cselényi és Prof. B. Illés által szerkesztett Logisztikai rendszerek című könyvben [55] szereplő járattervezést segítő algoritmusa több jelentős INPUT adat fontosságára is kitér:

- az anyagáramlás intenzitására,
- járatkapacitásra,
- jármű rakodási képességére,
- a járatok irányítására,
- a járműflotta jellemzőire,
- szállítási időpontok kötöttségére,
- rakodással kapcsolatos várakozásra,
- járattípusra.

A csomagolóanyagokkal kapcsolatos kutatások és kutatási eredmények a Böröcz Péter [2] doktori disszertációjában lelhetők fel. A szerző kitér a csomagolási rendszer feladataira és céljaira, ahol kiemelt jelentőségűnek tartja a környezetvédelmi szempontokat. Vizsgálja a csomagolás betétdíjának jelentőségét a gyűjtés–újrahasznosítás szempontjából.

A Ladányi Richárd által szerkesztett doktori disszertáció [56] alapján új járattervező módszert definiált a szerző, matematikai modell megalkotásával. A vizsgálatokat a szelektív hulladékgyűjtés területén végezte, ahol az edény telítettségét is figyelemmel kísérte. A hulladékgyűjtés hatékonyságának növeléséhez megkülönbözteti a családi házas és társasházi területen található hulladékgyűjtést. A gyűjtőjárat területtípushoz kerül illesztésre, így az egyes családi házakat házhoz rendelt gyűjtőjáratokkal fogják kiszolgálni. A szerző vizsgálatot hajtott végre az egyes szelektív hulladékgyűjtő szigeten található edénnyel kapcsolatosan, mely során a következő adatok kerültek rögzítésre:

- a begyűjtés dátuma,
- a gyűjtött hulladék típusa,
- a gyűjtősziget azonosítója,
- az edények telítettsége, melyet kategóriába sorol,
- az ürítés elvégzésének tényét.

Mosonyiné Ádám Gizella, inverz logisztikai láncok működése és optimalizálási szintjei [57] művében a logisztikai folyamatok kerülnek kihangsúlyozásra, mégpedig nem részenként, hanem egyben, azaz az ellátási logisztika mellett az inverz logisztika is megtalálható, ezzel egy komplett folyamatot leírva. A tanulmányt tovább olvasva kitér a szerző, hogy a korábban centrikus hulladéklerakási szemléletmódból át kell térniük a település fenntartóinak olyan új módszerekre, amelyek összhangban vannak a hulladékgazdálkodási törvénnyel, tehát a működő rendszerüket újra kell gondolniuk.

A szerző több fontos gondolata közül a gyűjtőedénnyel kapcsolatosan az alábbiakra tér ki:

- a gyűjtendő hulladékösszetevő jellege,
- alkalmas bedobó nyílás,
- zárható kivitel,
- könnyű üríthetőség és tisztíthatóság,
- minimális zaj kiszűrődés,
- figyelemfelkeltő szín és piktogrammok,
- esztétikus forma,
- időjárással és rongálással szembeni ellenállás.

A Fővárosi Közterület–fenntartó Kft. [58] a házhoz menő, szelektív hulladékgyűjtés kifejlesztését preferálja. Célként tűzték ki a minél nagyobb mennyiségben történő szelektív

hulladékgyűjtés elérését. Két fajta edény alkalmazására kerül sor, melyik közül az egyik a műanyag+fém, a másik edény pedig papír gyűjtése céljából kerül elhelyezésre. A begyűjtött hulladékot – műanyag+fém – válogatását saját üzemben hajtják végre.

Véleményük szerint a szelektív hulladékgyűjtő szigetek szerepe megváltozik, oda csak üveg elhelyezése lehetséges. A szelektív hulladékgyűjtés átalakulásától a cég az illegális hulladéklerakást, illetve a begyűjtött szelektív hulladék mennyiségének növekedését várja.

A dombovári házhoz menő szelektív hulladékgyűjtéssel kapcsolatos előterjesztést [59] – melynek tárgya „a házhozmenés gyakoriságának vizsgálata" – tanulmányozva megállapítható, hogy az ilyen jellegű gyűjtés esetén az edénybe bekerült hulladék csak 6%–a nem volt hasznosítható, míg a hulladékgyűjtő szigeteken ez az érték 32%–os volt. A dokumentumból kiderül, hogy a magas költségek és az edény telítettlensége miatt szükséges (papír esetében) az ürítési rendet módosítani – két hétről négy hétre.

Dr. Péter Tamás és társai a cikkükben [60] PannonTrafic szoftvert alkalmazzák a közlekedési folyamatok szimulálása érdekében. Győr város adatai kerülnek felhasználásra, és az eredmény alapján a mért és szimulált adatok közel 100%–ig megegyeznek. A következő művében [61] a nagyméretű közlekedési hálózatokat vizsgálja új hiper–mátrix struktúra alkalmazásával. A struktúra a különböző kapcsolatokat és törvényszerűségeket is tartalmazza. A komplex közlekedésdinamikai rendszer vizsgálata [62] című cikkben a társszerzőkkel együtt a városi úthálozat adatainak rögzítésével, a forgalom szimulációs módszerünkkel és a validált modell alapján, mérést helyettesítő gyors és költséghatékony módszert tudnak alkalmazni a vezetők terhelésanalízisére, amely paraméterezhető a jármű és járművezető jellemzői alapján is.

A Szendrő G. által szerkesztett – Introduction to the Road Safety Situation in Hungary [63] – cikkben, továbbá Török Á. [64] publikációjában komoly közlekedésbiztonsági kérdéseket vizsgálnak meg, ahol figyelembe veszik az útvonalak típusait, továbbá azt, hogy a tehergépjárművek által okozott balesetek száma (a vizsgált területen) 1/5–e a személygépkocsival történő ütközések számának.

Strobl András és társai által szerkesztett cikkben [65] a városi közlekedési hálózatok kutatásának és fejlesztésének jelentőségről számolnak be. Kiemeli a közlekedési balesetek által bekövetkezett veszteségek nagyságának jelentőségét. A szerző említést tesz a közlekedésben fellelhető intelligens rendszerekről, illetve az infokommunikáció alkalmazásáról.

Fazekas S. és Péter T. [66] közös művükben ismertetik a közlekedési hálózatok modellezésének folyamatát és legfontosabb lépéseit. A cikk 5 fő INPUT adatot fogalmaz meg. Péter T. további cikkében [67] felhívja az olvasó figyelmét, a közlekedés által kibocsátott légszennyezés visszaszorításának fontosságára. A GreenNet rendszer lényege, hogy három külön szinten avatkozik be a károsanyag kibocsátás csökkentése érdekében.

## 3.3. A hulladékgyűjtéssel kapcsolatos szakirodalom áttekintése – a fejezet összefoglalása

A különböző külföldi és hazai cikkeket, doktori disszertációkat és könyveket tanulmányozva megállapítható, hogy az egyes optimalizációs elemek külön–külön kerülnek megvizsgálásra. A doktori disszertációm témájához legközelebb az F. Vicentini és társai által szerkesztett cikkben található mérő–kommunikációs rendszer áll. A Mosonyiné Ádám Gizella által szerkesztett cikkben fontos gondolatok hangoznak el, melyek közül kiemeli az edény esztétikáját, használhatóságának fontosságát. A házhoz menő szelektív hulladékgyűjtés is megvizsgálásra került, amely alapján kiderül, hogy a rendszer üzemelése komoly költségeket igényel – itt fontos megemlíteni, hogy nincs hasonlítható adat a szelektív hulladékgyűjtő szigetekéhez képest. A házhoz menő szelektív hulladékgyűjtés során a nagyságrenddel magasabb hulladékhomogenitás arra enged következtetni, hogy hazánkban nem megfelelő a szelektív hulladékgyűjtés kultúrája. További problémaként megemlíthető, hogy az edények ürítése nem optimalizált, és a jármű telítettségének pontja sem prognosztizálható.

Dr. Péter Tamás és társai által közölt cikkek nagy jelentőséggel bírnak az útvonaloptimalizálás területén, melyre komoly hangsúlyt kell fektetni a közlekedés és környezetterhelés csökkentésének érdekében. Az ismertetett releváns cikkekben megjelenő tervek, vizsgálatok és fejlesztési gondolatok nagy motiváló erővel bírtak a doktori disszertációm elkészítéséhez. Ezek a gondolatok kiegészítve, továbbfejlesztve válnak a disszertációm részévé.

# 4. Feladatkitűzés

A hulladékgyűjtéssel kapcsolatosan végzett kutatások alapján definiáltam a dolgozatom témáját, azaz a szeletív hulladékgyűjtés területén a begyűjtés hatékonyságnövelésére irányuló lehetőségek behatóbb feltárását. Célszerűnek tartottam a téma feldolgozását, mert a szelektív hulladékgyűjtés területén az infokommunikációs eszközöket használva jó esélyt láttam az ürítési rend színvonalának emelésére. A dolgozatomat az egyik fő szelektíven gyűjthető anyag, a PET palack gyűjtésének fontosságával és fejlesztésével kapcsolatosan írom.

A begyűjtési színvonalnövekedést a meglévő módszerek továbbfejlesztésével és az új módszerek alkalmazásával remélem a következők szerint:

- infokommunikációs rendszer alkalmazását terveztem az edények, járattervező központ és a hulladékgyűjtő járművek között,
- az edények telítettsége alapján optimalizálnám az ürítési rendet,
- az edények telítettsége alapján optimalizálnám a begyűjtés útvonalát,
- a hulladékgyűjtő jármű telítődését optimalizálnám az edénybe elhelyezett hulladék paraméterei alapján,
- telítődési trend (statisztika) segítségével megvizsgálnám a teljesen nem telített edények begyűjtésének fontosságát,
- az infokommunikációs rendszer segítségével a begyűjtési útvonal folyamatos újradefiniálásával tervezem a begyűjtési hatékonyság növelését,
- további szolgáltatókat kívánok real–time alapon kapcsolni a rendszerhez – ezzel biztosítva az optimális útvonal definiálását.

Az új rendszer SWOT analízisét végeztem el, melynek pontjait végigvezetem a dolgozatomban (4.1. táblázat).

| | |
|---|---|
| Erősségek:<br>• optimális ürítés,<br>• hulladékgyűjtő jármű kapacitáski–használtságának növekedése,<br>• üres edények ürítésének mellőzése,<br>• tisztább–élhetőbb környezet,<br>• közlekedésbiztonsági és környezet–védelmi előnyök. | Gyengeségek:<br>• költséges rendszer,<br>• új karbantartási költségek,<br>• kisebb kapacitású járművek beszerzésének szükségessége,<br>• kisméretű területen csak várostisztasági előnyök fogalmaz–hatók meg. |

| Lehetőségek: | Veszélyek: |
|---|---|
| • gyakori ürítés mellőzése céljából adott sziget szelektív hulladékgyűjtő edény számának növelése,<br>• további adatgyűjtés az edényről,<br>• nyílt adatforrás az edény telítettségéről. | • az egyes edények ürítése gyakoribb lesz,<br>• fals adatok nem megfelelő gyűjtési kultúra esetén,<br>• hulladék-eltulajdonítási probléma a telítettségi szint nyílt adatforrása következtében. |

***4.1. táblázat: Real–time alapú infokommunikációs rendszer SWOT analízise[6]***

**Erősségek:**

A rendszer alkalmazásával lehetőség nyílik az edény telítettségének detektálására, így olyan útvonal definiálható, amely lehetővé teszi, hogy csak a telített edények kerüljenek ürítésre, mellőzve ezzel az indokolatlan ürítések számát. Az edények kiválasztásánál szem előtt tartandó, hogy olyan edény ürítése is bekerüljön a járattervbe, amely a begyűjtés pillanatában még nem telített, azonban az ürítése a statisztikai adatokra való támaszkodás során indokolt, azaz az edény telítődése rövid időn belül várható. Az indokolatlan ürítések során megtett többletút, illetve nem optimális helyen telítődött jármű miatt a rendszer alkalmazásával még környezetvédelmi előnyök is megfogalmazódtak. A rendszer további erősségei közé a járműkapacitás–kihasználtság maximalizálása tartozik, mely a tervezett bejárás során az „utolsó edény" felvételekor – a járműben szabad kapacitás rendelkezése esetén – további edény felvételére is lehetőség nyílik – az optimalizációt szem előtt tartva.

A lakosság számára megfelelően ürített (hulladékot fogadni képes) edény a szelektív hulladékgyűjtés területén ösztönző hatással bír, így nem kerül sor az edény mellé történő ürítésére, illetve egyéb elhelyezésre. A kevesebb indokolatlan út megtétele és az indokolatlan edény emelés – ürítés előnyöket fogalmaz meg a közlekedésbiztonság területén is.

**Gyengeségek:**

A szelektív hulladékgyűjtés továbbfejlesztése során alkalmazott infokommunikációs rendszer meglehetősen nagy befektetést igényel, hiszen az elemek kiépítése nélkülözhetetlen a

[6] Forrás: saját szerkesztés

rendszer működéséhez. Rendszerspecifikus eszközök – céleszközök– kifejlesztésére van szükség, amelyek mint egyedi rendszerelemek magas árral kalkulálhatók. További hátrányként említhető, hogy a költséges rendszer kiépítése karbantartási–javítási költségeket is vonz. Ezek a költségek megfelelően megtervezett eszközök alkalmazásával nagyságrendekkel csökkenthetők.

Az edények telítődésének random alakulása miatt lesz néhány edény, amely gyakrabban telítődik, és ezeket célszerű kisebb kapacitású járművel begyűjteni, ezért néhány kisebb kapacitású jármű beszerzése nélkülözhetetlen. Ezeknek a szelektív hulladékgyűjtő edényeknek az ürítése elsősorban nem gazdasági, hanem várostisztasági szempontok alapján történik.

A továbbfejlesztett hulladékgyűjtő rendszer kisebb hulladékgyűjtési területen történő alkalmazása esetén csak várostisztasági előnyök fogalmazhatók meg. A viszonylag közelben lévő hulladékgyűjtő szigetek és hulladékkezelő–lerakó terület miatt az edények ürítésénél nem keletkezik nagyságrenddel nagyobb megtakarítás, mint egy nagy hulladékgyűjtő területen, azonban a hazai gyakorlat alapján elmondható, hogy a hulladékgyűjtéssel foglalkozó gazdasági társaságok a begyűjtést és lerakást általában megyékre, régiókra vállalják.

**Lehetőségek:**

A rendszer alkalmazása esetén, az edény által sugározott adatok rögzítésének segítségével olyan adatbázis lesz elérhető a hulladékgyűjtést végző társaság számára, amely alapján lehetőség lesz alátámasztani azt a fejlesztési igényt, hogy mely hulladékgyűjtő szigeten indokolt az adott hulladékfajtára további edény elhelyezése, ezzel biztosítva a szigeten lévő edény gyakori ürítésének csökkentését.

Az edénybe elhelyezett mérő és adatközlő egység továbbfejlesztésével, lehetőség nyílik az edény üzemképességének meghatározására. Hazai gyakorlat alapján gyakori az edények tartalmának eltulajdonítása, amely az edény felborításával jár. Az edénybe integrált giroszkóp jeladó segítségével lehetőség nyílik az üzemképtelen –felborított – edények detektálására.

A rendszer alkalmazása esetén a szolgáltatási színvonal magasabb szintje érhető el. A nyílt forrású adat – edény telítettségi szint – alapján, a felhasználók számára lehetőség adódik hulladékuk szelektív edénybe történő elhelyezése előtt tájékozódni, hogy mely sziget edénye

képes azt befogadni, így az esetleges edény mellé történő ürítés illetve egyéb elhelyezés veszélye elmarad.

**Veszélyek**

A különböző területi besorolás, a lakosság életszínvonala, a változó gyűjtési kultúra, valamint a településrészenként változó lakosszám alapján elhelyezkedő szelektív hulladékgyűjtő szigetek edényének telítődése nem egyidejű, így az egyes edények gyakoribb ürítésére lesz igény, amely nem az optimális begyűjtési útvonal definiálása során történik, hanem egyedi begyűjtési mód alapján. Az optimális ürítés időpontjának definiálása és a begyűjtő jármű telítődési pontjának prognosztizálásához nagy jelentőséggel bír a gyűjtési kultúra, azaz fontos, hogy az edénybe elhelyezett hulladék homogén és tartalommentes legyen. – pontosabban tartalommentes azonos alapanyagú csomagolás. A szelektív hulladékgyűjtő edénybe nem megfelelő anyag elhelyezése során, az edény fals információt szolgáltat a központ számára. A fals adatok alapján a megfelelő optimalizáció végrehajtására nem kerül lehetőség.

A nyílt forrású adat nem megfelelő felhasználása – edény tartalmának eltulajdonítása céljából – esetén akár megnövekedhet az edények felborításának –alsó ürítés miatt – lehetősége, ezzel hozzájárulva az edény üzemen kívüli helyezéséhez.

**Konklúzió:**

A gyűjtési hatékonyság növelésére alkalmazandó infokommunikációs rendszer a gyűjtőrendszer teljesítményét növelheti. A rendszer alkalmazásával a következő területen érhetők el eredmények:

- gazdasági,
- környezetvédelmi,
- közlekedésbiztonsági,
- köztisztasági területen.

Nagyobb hatékonysággal működő gyűjtőrendszer kialakítása pedig akkor lehetséges, ha sikerül definiálni az edényekbe elhelyezett hulladék paramétereit, a hulladékgyűjtő járműbe elhelyezett hulladék tömörítésének paramétereit, valamint definiálni azt a peremfeltételt, ahol még célszerű azoknak az edényeknek az ürítése, amelyek telítődése még nem került be az

útvonaltervbe, de a statisztikai adatokra való támaszkodás alapján indokolt – azaz telítődésük rövid időn belül várható.

**Peremfeltételek:**

A rendszer a szelektív hulladékok gyűjtőszigetekről való elszállítás időpontjának és logisztikájának optimalizálására definiált. Célom nem az újabb szelektív hulladékgyűjtő szigetek kialakítási helyének definiálása, és a rágyaloglási távolság csökkentése, hanem az edényben elhelyezett hulladékok paraméterei alapján olyan optimális gyűjtőrendszer – modell megalkotására vállalkozom, amely alkalmazása révén több szempont figyelembevételével optimális útvonalat képes definiálni.

- Disszertációmban a PET palackok szelektív gyűjtésének a vizsgálatát végzem el, a többi szelektív anyag – üveg, fém, papír – vizsgálatára nem térek ki. A kidolgozni kívánt gyűjtőrendszer a többi szelektív hulladék gyűjtésére is alkalmas, egyes pontok újragondolására azonban mindenképp szükség van.
- A modellezés során az általánosan használatos szelektív hulladékgyűjtő edények térfogatát, és működési módját vettem figyelembe. Ennek a közelítésnek a gyakorlati háttere az, hogy az alulürítős edények illegális tartalmának eltávolítása kisebb kockázattal jár, mint a felülről nyitható–üríthető kivitelűé.
- A szelektív hulladékgyűjtés során használatos főbb palacktérfogatok INPUT adatként való felhasználásának okai a következők:
    - a PET palackok termékspecifikáció alapján számtalan formában jelennek meg,
    - az „álló kivitelű” edény bedobónyílásán csak a megfelelő méretű PET hulladék helyezhető el – az 5L–es palack bedobására nincs lehetőség.
- A szelektíven elhelyezett PET hulladék tömörítési szintjét a háztartásokban alkalmazott tömörítési mód alapján vettem figyelembe. A speciális, kereskedelemben kapható tömörítő eszközök által tömörített PET hulladék vizsgálatára nem került sor.
- A feladatot olyan gyűjtőjárművek alkalmazásával oldom meg, amelyek az EU és hazánkra jellemző hátultöltős kivitelű és minden (a gyakorlatban előforduló szelektíven gyűjthető) hulladékfajta kezelésére képesek. A járművekre jellemző 1:4 ill. 1:5 arányú hulladéktömörítés.
- Azzal a feltételezéssel is élek, hogy az edénybe helyezett hulladék homogén és a csomagolás nem tartalmaz terméket, azaz a PET palackok üresek.

# 5. A szelektív hulladékgyűjtés új real–time alapú infokommunikációs támogatású rendszerének kifejlesztése és közlekedési szempontú optimalizálása

Az egyre terjeszkedő városok és lakosság számának folyamatosan növekvő tendenciája a hulladékkeletkezés területén egyre nagyobb problémát jelent. A nem megfelelően ürített edények veszélyeztetik a tisztább, élhetőbb város kialakulásának lehetőségét. További problémát okoznak az edények elérése során felmerülő környezetvédelmi és közlekedésbiztonsági szempontok. Jelen fejezet olyan technológia alkalmazását ismerteti, amely során lehetőség nyílik az útvonal–optimalizálás mellett real–time alapú infokommunikáció alkalmazására, így az említett problémák súlyát nagyságrenddel csökkentik.

Jelen fejlesztés célja, hogy az útvonal–optimalizálás, optimális üzemanyagfogyasztás és károsanyag kibocsátás mellett olyan rendszert ismertessen, amely képes ezen előnyökre alapozva egy magasabb szintű hulladékgyűjtést definiálni, azaz a telített edényeket detektálja és az indokolatlan ürítéseket mellőze. A Titrik–SZE által szabadalmaztatott rendszer [68–73] alapján az egyes szelektív hulladékgyűjtő szigeteken elhelyezett edényeket telítettségmérő eszközzel szerelik fel, így azok képesek a járattervező központtal real–time alapon kommunikálni. A rendszer alkalmazása lehetővé teszi az edények ürítésének optimalizálását a hozzájuk elvezető optimalizált útvonal definiálásával. A rendszerben alkalmazott real–time alapú infokommunikáció segítségével lehetőség nyílik a hulladékgyűjtés során további telítésre kerülő edények ürítésére, azaz a begyűjtési útvonal folyamatos újradefiniálására. Az információáramlás jelentőségét Kovács János [74] is kiemelte a PhD értekezésében, amely alapján – 5. tézis – az információk hiánya a logisztikában komoly gazdasági hátrányt jelentenek.

## 5.1. A real–time alapú infokommunikációs rendszer ismertetése

A rendszer működésének alapja a real–time alapú infokommunikáció és a GIS technológia. A rendszer három fő pillérre épül:

- az első az edény telítettségének és a hulladék tömegének mérése,

- a második az edényhez tartozó információs adatbázis,
- a harmadik az optimalizált ürítés és útvonal definiálása.

Real–time alapú infokommunikációt alkalmazva a hulladékgyűjtésen lévő járműnek kiadott útvonalterv az esetlegesen további telítésre került edények és a járattervező központ közötti kommunikáció alapján a definiált útvonal újradefiniálására kerül, melyet a hulladékgyűjtő jármű rendszere, útvonalmódosítás vesz számításba. A jármű és a járattervező központ között létrejövő kommunikációnak az edénybe elhelyezett hulladék tömöríthetőségi szempontja miatt is nagy jelentősége van, hiszen a nem megfelelő gyűjtés, valamint a nagyságrenddel nagyobb mennyiségben elhelyezett flakonok más tömöríthetőségi fokkal rendelkeznek. Ezen adatok alapján nem lehet magas pontossággal prognosztizálni a hulladékgyűjtő jármű telítődésének pontját, így a jármű teljes kapacitás kihasználatlansága esetén a meglévő útvonal újradefiniálásával további edények ürítésére is lehetőség nyílik.

Szelektív hulladékgyűjtésre alkalmazott jármű kapacitása $22m^3$–re tehető. Szelektív hulladékgyűjtéskor az edénybe elhelyezett hulladék térfogata nem éri el megfelelő tömörítés nélkül a minimumot, ezért az $1{,}1m^3$–es edény térfogata esetén a megfelelő tömöríthetőséggel – becsült adat – számolva különböző hulladékok esetén különböző térfogati értékeket kapunk (5.1. táblázat).

| ***Hulladék fajtája*** | ***Tömöríthetőség*** | ***Tömörített térfogat $1{,}1m^3$–es telített edény esetén $[m^3]$*** | ***$22m^3$ kapacitású járműbe üríthető edények száma [db]*** |
|---|---|---|---|
| ***Papír*** | ***20–30%*** | ***0,88–0,77*** | ***25–39*** |
| ***PET palack*** | ***60–70%*** | ***0,44–0,33*** | ***50–67*** |
| ***Fém*** | ***30–40%*** | ***0,77–0,66*** | ***29–34*** |
| ***Üveg*** | ***30–40%*** | ***0,77–0,66*** | ***29–34*** |

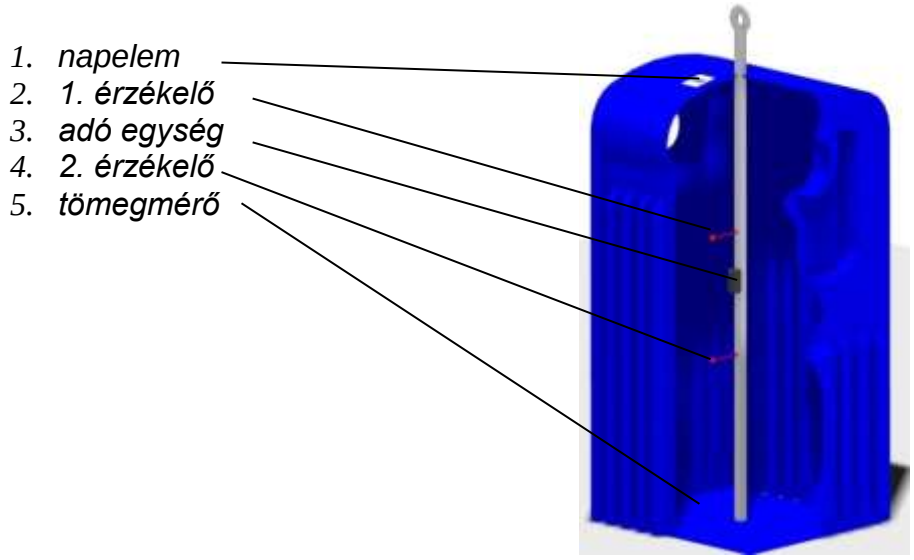
***5.1. táblázat: Különböző anyagok esetén a $22m^3$ térfogatú hulladékszállító járműbe üríthető edények ($1{,}1m^3$) darabszáma[7]***

## 5.2. A szelektív hulladékgyűjtő edény telítettségi szintjének meghatározása

A méréstechnikában alkalmazott különböző kivitelű útadók, súlymérők és térfogatmérők egyikének, illetve kombináltan edénybe történő integrálása lehetővé teszi az edény telítettségének és a hulladék tömegének a mérését (5.1. ábra). A mért paraméterek

[7] Forrás: saját szerkesztés

továbbításához szükséges egy olyan kommunikációs egységet illeszteni, amely lehetővé teszi az adatok továbbítását.




***5.1. ábra: Szelektív hulladékgyűjtő edénybe integrált mérő és kommunikációs eszközök***[8]

Az edénybe elhelyezett különböző egységek energiaellátását biztosítani kell. Az akkumulátor által biztosított energia korlátozott, ezért szükség van az adott energiaforrás feltöltésére. A feltöltésre manapság több megoldás létezik:

- gyorscsatlakozó segítségével töltés emelés–ürítés folyamata alatt,
- indukciós töltés,
- napelem segítségével.

Az egyszerűség figyelembe vétele során az akkumulátor töltése legegyszerűbben napelem segítségével oldható meg. Az akkumulátorral és napelemmel kapcsolatosan a következő irodalmak kerültek tanulmányozásra. Szakállas Gábor és társai által szerkesztett cikkben [75] napelemvizsgáló berendezést hoztak létre az egyes paraméterek felvétele céljából. A vizsgálat célja a napelem melegedéskor keletkező káros hatás kiküszöbölése, így különböző INPUT adatok alapján képesek a napelemet vizsgálni, mely alapján fontos az 1200nm hullámhosszúságnál nagyobb káros hatással rendelkező sugarakat megszűrni. Kocsis Szürke Szabolcs [76] által ismertetett tanulmányban a lítium akkumulátorok töltési– kisülési feszültséghatárának fontosságát emeli ki. A LiPo cella egy adott alsó feszültség határ, ami 2,7V–ra tehető, és egy felső feszültségi határ 4,2V átlépése során a komoly károsodást szenvedhet, így nagy hangsúlyt kell fektetni a feszültségkorlátozásra a cella élettartam növelése érdekében, valamint a tűzeset elkerülése miatt.

[8] Forrás: saját szerkesztés

Peyman Taheri és társa [77] a LiPo akkumulátor hőmérsékleti változására definiáltak megoldást, melyhez négy fő bemeneti adatra van igény. A téma fontossága töltés és használat során az akkumulátor hőterhelésének vizsgálata. Kőházi–Kis Ambrus [78] a lítium akkumulátor vizsgálata területén a különböző veszélyes hőmérsékleti szinteket ismerteti a várható meghibásodásokkal. Kőrös Péter és társai [79] által szerkesztett cikkben a különböző típusú akkumulátorokról kaphatunk adatokat. Az adatok közül az egyik legjelentősebb az akkumulátorra jellemző energiasűrűség. A következő [80] cikkben a savas akkumulátorok töltési folyamatáról olvashatunk, melyben szó esik az optimalizált töltésről az akkumulátorok élettartamának kibővítése céljából. A [81]. cikkben a különböző típusú akkumulátorok töltési folyamatai kerülnek ismertetésre a töltők kapcsolási rajzával együtt.

A csatlakozás nélküli töltés megoldására, Hui [82] publikációjában az indukciós alapú töltést ismerteti, és a végrehajtott vizsgálat alapján a bemutatott egységeken – MP3– lejátszó, mobiltelefon – megfelelően működik. A töltési folyamat előnye, hogy nincs szükség az eszközök (töltő és töltendő) között összekötő vezeték alkalmazására.

A publikációk alapján több fontos tényező is figyelembe vételre került, mint például a napelemet érő káros hatások kiszűrésének fontossága, továbbá a lítium akkumulátorok töltési alkalmazási lehetőségének vizsgálata, mely alapján fontos tényező, hogy az ilyen jellegű akkumulátor töltése és kisütése fagypont alatt komoly mértékben károsítja az akkumulátort.

A hulladékgyűjtő edény telítettségének jelzésére illetve lekérdezésére az alábbi lehetőségek állnak rendelkezésre:

1. jelzés küldése adott szint elérése után,
2. darabszám alapján történő jelzés,
3. tömeg alapján történő jelzés,
4. tetszőleges időpontban lekérdezhető telítettség – távolságmérő alkalmazásával (ultrahangos távolságmérő).

Az edény és a járattervező központ között létrejött egyoldali kommunikáció az első két információközlés során megy végbe - jelzés küldése adott szint elérése után, és a darabszám alapján történő jelzés.

1. A „jelzés küldése adott szint elérése után” lehetőség elemzése

Az ilyen jellegű információközlés alkalmazása esetén az edényben alkalmazott mérőeszköz az ún. helyzetkapcsolóval oldható meg. A kapcsoló elhelyezésre komoly hangsúlyt kell fektetni az alábbi okok miatt:

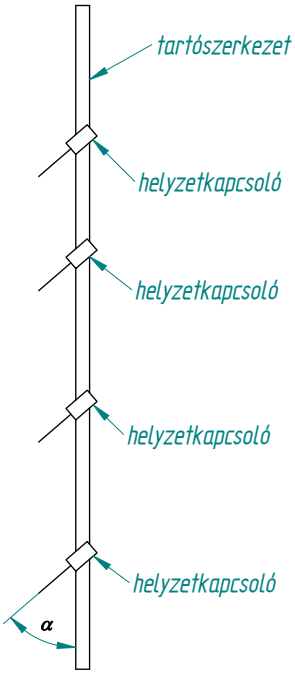
- cserelehetőség meghibásodás esetén,
- biztonságos elhelyezés nem rendeltetésszerű használat esetén,
- optimális elhelyezés az edény telítettségének pontos tájékoztatása alapján.

Az ilyen jellegű feladat elvégzésére a TRACON LSME8166 típusú kapcsoló (5.2. ábra) vagy az ezzel a kapcsolókialakítással egyenértékű bizonyul megfelelőnek. Mivel kis áram kapcsolásáról van szó, így célszerű az igényelt paramétereknek megfelelő kapcsoló gyártása.

***5.2. ábra: Rugós, pálcás kivitelű helyzetkapcsoló paraméterekkel***[9]

Helytelen kapcsolóelhelyezés esetén a kapcsolóra tapadó nem edénybe illő hulladék (pl. ruhadarab, papír) esetén fals adatot szolgáltat az edény – azaz az anyag eltávolításáig folyamatosan az adott szintet jelzi az eszköz. Célszerű a helyzetkapcsolót (5.3. ábra) a vertikálissal minél kisebb szögben helyezni ($\alpha>30°$).

[9] Forrás: shop.traconelectric.com/files/ckfinder/upload/kat/tracon_catalogue_2014_15_K_v2_hu.pdf



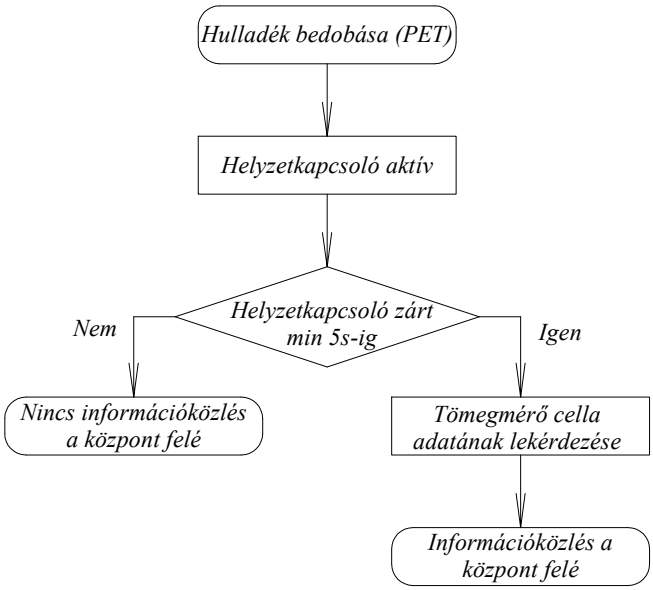

***5.3. ábra: Helyzetkapcsolók elhelyezése az edényben[10]***

A helyzetkapcsolók elhelyezése tetszőleges magasságban és darabszámban történhet, így lehetőség nyílik tetszőleges telítettségi szintenként történő információ küldésére.

Az alkalmazás előnye, hogy a rendszer telítettségi információjának küldése – csak egy adott szint elérése során – egyszeri energiafelhasználással történik. Az edényben elhelyezett tömegmérő cella által érzékelt adat is a telítettséggel egyidőben kerül közlésre.

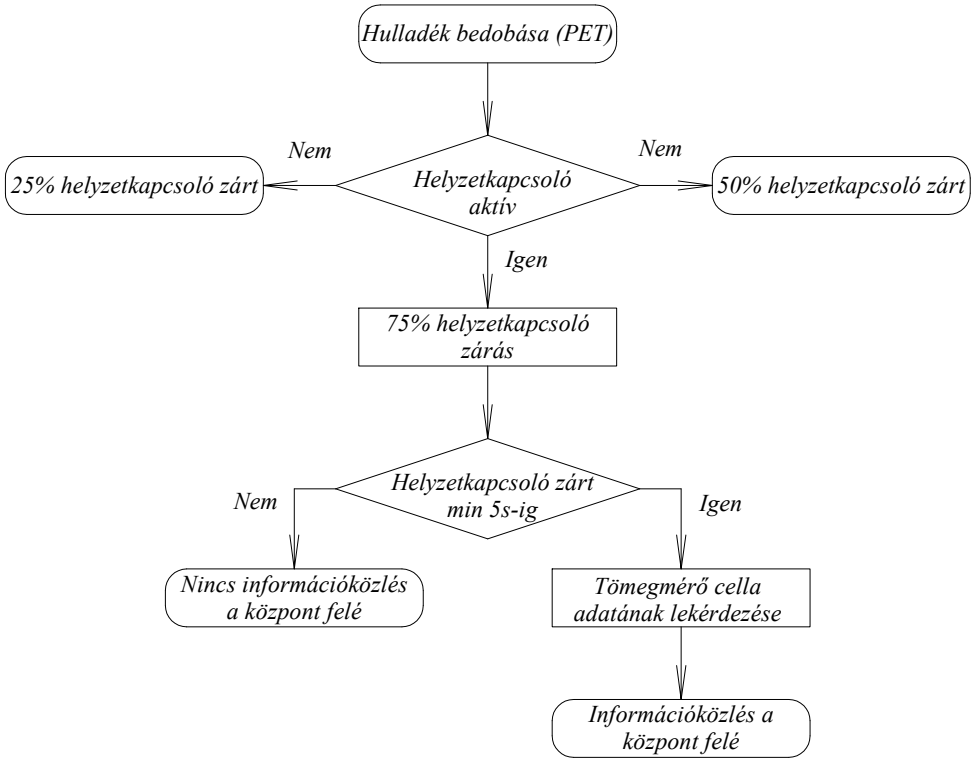
Az edényben elhelyezett helyzetkapcsoló zárásakor (aktiválásakor) nem célszerű jelet küldeni, hiszen a kapcsoló zárása megtörténhet a palack bedobásakor is amennyiben az hozzáér a kapcsoló szárához. A jeladást kb. 5s–os zárás után célszerű elvégezni (5.4. ábra), így biztos, hogy a kapcsoló zárása folyamatos, kitámasztja a PET palack, azaz az edény telítettségi szintje elérte a kérdéses magasságot.

[10] Forrás: saját szerkesztés




***5.4. ábra: Információközlés folyamatábrája helyzetkapcsoló aktiválása esetén[11]***

Az egyes telítettségi szint – ahová a kapcsoló elhelyezésre került – elérése után csak egy kimenő jel van, tehát az újabb kérdéses szint elérésekor csak az új szint és a hozzá tartozó tömeg kerül elküldésre (5.5. ábra).

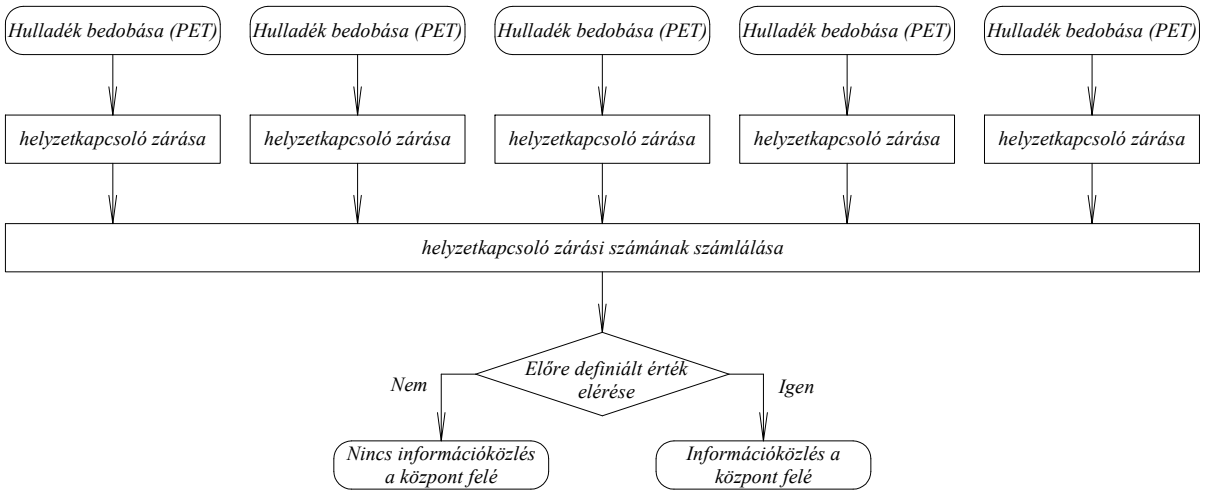



***5.5. ábra: Információközlés folyamatábrája 50%–nál jobban telített edény esetén[12]***

[11] Forrás: saját szerkesztés
[12] Forrás: saját szerkesztés

2. A „darabszám alapján történő jelzés” lehetőségének elemzése

Az edény bedobónyílásánál elhelyezett kapcsoló alkalmazásával történhet a jelzés. A feladatra szintén alkalmas az előző pontban ismertetett helyzetkapcsoló alkalmazása. A helyzetkapcsoló előnye, hogy inaktív állapotban nincs energiaigénye, ami esetünkben nagy jelentőséggel bír. Célszerű a kapcsoló aktiválását (zárását) számolni, majd egy „n” érték után jelet küldeni a központ felé (5.6. ábra), mellyel a rendszer energiatakarékosabbá tehető.




***5.6. ábra: Információközlés folyamatábrája az edénybe történő hulladékbedobás száma alapján[13]***

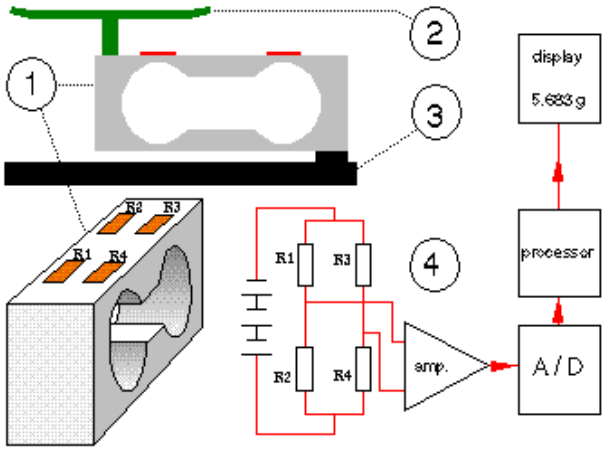
3. A „tömeg alapján történő jelzés” lehetőségének elemzése

Legcélszerűbb mérőeszköz az erőmérés területén alkalmazott nyúlásmérő bélyeg tömegmérő cellaként történő alkalmazása (5.7. ábra).

A tömegmérő egység elhelyezésével szemben támasztott követelmények:

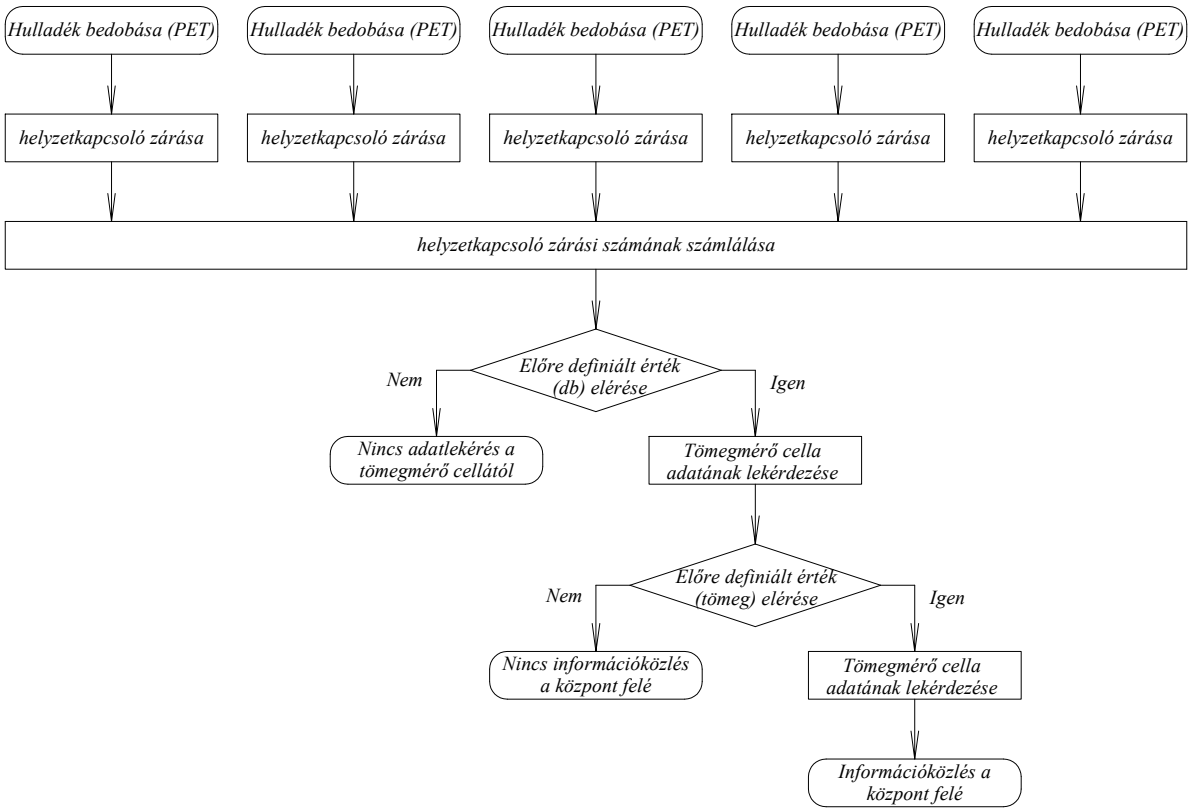
- az edény rendeltetésszerű használatát ne gátolja,
- meghibásodás esetén könnyű cserélhetőség.

[13] Forrás: saját szerkesztés




***5.7. ábra: Nyúlásmérő bélyeg tömegméréshez alkalmazva[14]***

A nyúlásmérő bélyeg működtetéséhez folyamatos energiaellátás szükséges, ezért célszerű megfontolni, hogy a tömegmérő cella adatlekérdezése minden egyes bedobás esetén, vagy „n” bedobás után történjen (5.8. ábra).




***5.8. ábra: Tömegmérő cella adatának lekérdezése „n” darab hulladékbedobás esetén[15]***

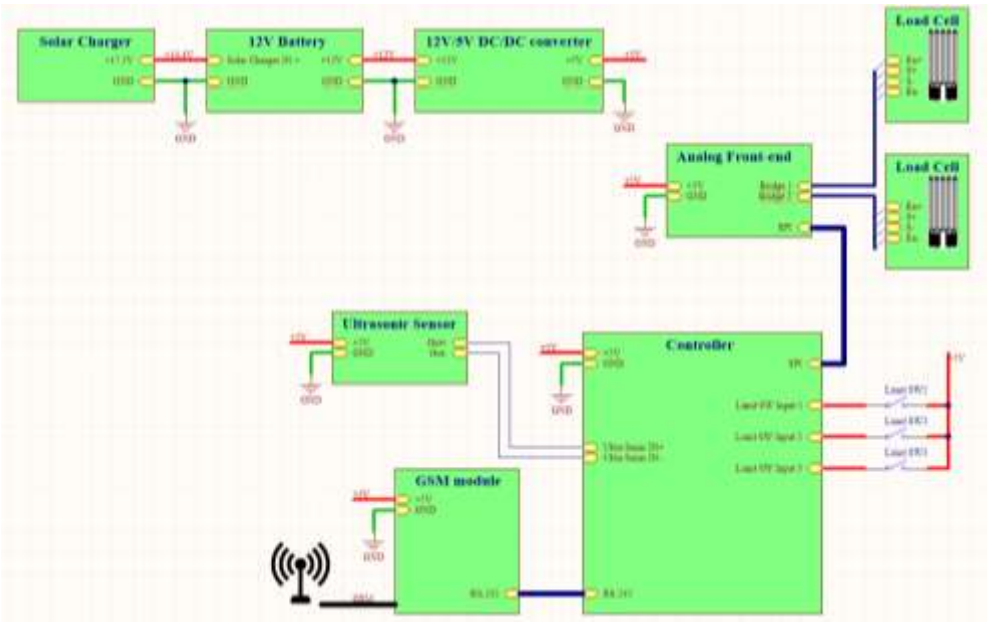
[14] Forrás: http://www.weighing-systems.com/TechnologyCentre/Balances.html
[15] Forrás: saját szerkesztés

A tömegmérő cella adatának lekérdezésekor a jeladás a központ felé csak az előre definiált érték (tömeg) elérése során lenne végrehajtva.

4. A tömegmérő, telítettségjelző és a „távolságmérő alkalmazása” lehetőség elemzése

A mérőeszközök alkalmazása esetén lehetőség van az előre definiált szint elérésekor történő automatikus jelzés küldése mellett, tetszőleges időpontban pontos információt lekérni az edényben elhelyezett hulladékról – ez esetben kétoldali kommunikáció kerül alkalmazásra (5.9. ábra).

A megfelelő távolságmérő eszközzel kapcsolatosan Dr. Varga Sándor [83] publikációja ad tájékoztatást, melyben az ultrahangos távolságmérést ismerteti. A publikációt tanulmányozva az ultrahangos mérési módszer teljesen megfelelő a számomra szükséges távolságmérésre, melyből képesek vagyunk a térfogat számolására –így ez a mérési módszer kerül alkalmazásra.




***5.9. ábra: Tömegmérés, telítettségjelző és ultrahangos távolságmérővel ellátott rendszer blokkvázlata[16]***

**A rendszer működéséhez az alábbi elemekre van szükség:**

Napelem:

- 5W/12V monokristályos napelem tábla, flexibilis,
- 220mm x 250mm x 18mm méret,
- névleges kimeneti feszültség: 17, 49V,
- rövidzárlati áram: ~410mA.

[16] Forrás: saját szerkesztés

Akkumulátor:

- 12V, 2Ah ólom akkumulátor.

Központi vezérlő:

- max. 100mA áramfelvétel,
- energiatakarékos üzemmód, low energy kivitel,
- analóg és digitális ki\bemenetek,
- soros, SPI kommunikációs interfészek.

GSM modul:

- soros kommunikációs interfész,
- 2G\3G kommunikáció,
- energiatakarékos üzemmód.

Ultrahangos érzékelő:

- 5mA áramfelvétel.

Szintérzékelő kapcsoló (n db):

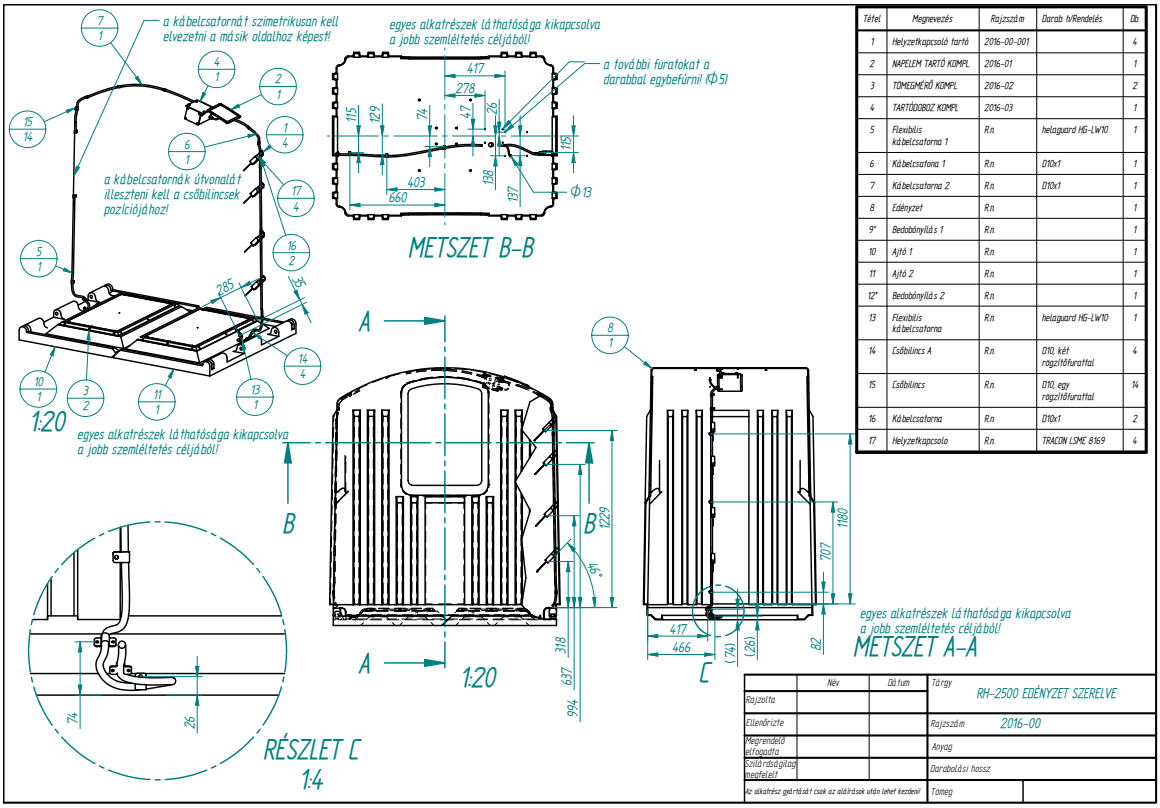
- Tracon LSME8166 rugószáras helyzetkapcsoló,
- 64mm x 55mm x 25mm méret.

Erőmérő cella (2 db):

- 500N mérési tartomány,
- 2m V/V érzékenység,
- 390Ω bélyeg ellenállás,
- ~15mA áramfelvétel/cella.

Kábelezés:

- 0,14mm$^2$ vezeték erőmérő cellák bekötéséhez (max. 360mA),
- 0,14mm$^2$ vezeték GSM modul bekötéséhez (max. 360mA),
- 0,14mm$^2$ vezeték központi vezérlő bekötéséhez (max. 360mA),
- 0,14mm$^2$ vezeték szintérzékelő kapcsolók bekötéséhez (max. 360mA),
- 0,5mm$^2$ vezeték akkumulátor bekötéséhez (max. 1500mA),
- 0,5mm$^2$ vezeték napelem bekötéséhez (max. 1500mA).




| Tétel | Megnevezés | Rajzszám | Darab. hiRendelés | Db. |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Helyzetkapcsoló tartó | 2016–00–001 | | 4 |
| 2 | NAPELEM TARTÓ KOMPL. | 2016–01 | | 1 |
| 3 | TÖMEGMÉRŐ KOMPL. | 2016–02 | | 2 |
| 4 | TARTÓDOBOZ KOMPL. | 2016–03 | | 1 |
| 5 | Flexibilis kábelcsatorna 1 | R.n. | helaguard HG–LW10 | 1 |
| 6 | Kábelcsatorna 1 | R.n. | D10x1 | 1 |
| 7 | Kábelcsatorna 2 | R.n. | D10x1 | 1 |
| 8 | Edényzet | R.n. | | 1 |
| 9* | Bedobónyílás 1 | R.n. | | 1 |
| 10 | Ajtó 1 | R.n. | | 1 |
| 11 | Ajtó 2 | R.n. | | 1 |
| 12* | Bedobónyílás 2 | R.n. | | 1 |
| 13 | Flexibilis kábelcsatorna | R.n. | helaguard HG–LW10 | 1 |
| 14 | Csőbilincs A | R.n. | D10, két rögzítőfurattal | 4 |
| 15 | Csőbilincs | R.n. | D10, egy rögzítőfurattal | 14 |
| 16 | Kábelcsatorna | R.n. | D10x1 | 2 |
| 17 | Helyzetkapcsoló | R.n. | TRACON LSME 8169 | 4 |

| | Név | Dátum | Tárgy |
|---|---|---|---|
| Rajzolta | | | RH–2500 EDÉNYZET SZERELVE |
| Ellenőrizte | | | Rajzszám 2016–00 |
| Megrendelő elfogadta | | | Anyag |
| Gyártástól eltérő megfelelő | | | Darabolási hossz |
| Az alkatrész gyártását csak az aláírások után lehet kezdeni! | | | Tömeg |

***5.10. ábra: Az „intelligens” edény alkatrészeinek elrendezési terve***[17]

Az 5.10. ábrán szemléltetett eszközök elhelyezése az edény belsejébe történik, ezzel védve a külső erőhatásoktól.

A „jelzés küldése adott szint elérése után” esetén a rendszer energiaigénye minimális, hiszen nem folyamatos mérése kerül sor, hanem egyszeri jelzés küldésére. Annak érdekében, hogy az edény megfelelő időben kerüljön ürítésre nincs lehetőség a 100%–os telítettséget megvárni, hiszen a járattervezéstől a begyűjtésig eltelt idő akár 17–24óra is lehet, attól függően, hogy hány műszakban, milyen területen történik a hulladékgyűjtés. Ezen a szinten történő jelzéskor, olyan problémába ütközhet a felhasználó, hogy mire az edény ürítésre kerül, addigra az túltelítődik, így a hulladék megfelelő elhelyezése elmaradhat, továbbá a felhasználó bizalma a rendszerrel kapcsolatosan csökken.

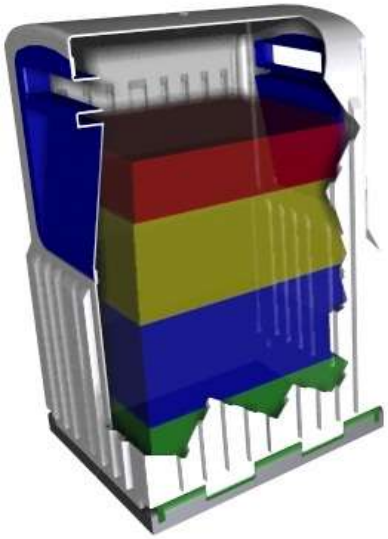
Túl alacsony szinten történő jelzés esetében az edény optimális telítettsége elmaradhat, hiszen az edény jelzése és ürítése között eltelt idő rövidségéből kifolyólag (függ az edény helyétől, elérhetőségétől, stb.) az edény továbbtelítődése (max. kihasználtsága) elmarad.

[17] Forrás: saját szerkesztés

A jelzések küldésére – különböző területeken is alkalmazott és megfelelőnek tartott – a 90%–os telítettség vehető alapul. Ennek az értéknek a validálására, illetve pontosítására valós körülmények között van lehetőség.

A következő szintek jelzését tartom célszerűnek a szelektív hulladékgyűjtő edény telítettségének és tömegének mérése során (5.11. ábra):

- 25%–os telítettség (zöld szín felső síkja),
- 50%–os telítettség (kék szín felső síkja),
- 75%–os telítettség (sárga szín felső síkja),
- 90%–os telítettség esetén (piros szín felső síkja).



***5.11. ábra: Szelektív hulladékgyűjtő edény telítettségi szintjeinek jelzése[18]***

## 5.3. A szelektív hulladékgyűjtő edényhez tartozó információ

Az edény telítettségi szintje mellett további fontos paramétereket is képes a rendszer az edényről küldeni:

- az edény pontos pozícióját,
- az edény esetleges felborulását,
- különböző hibakódokat (szenzor meghibásodás, akkumulátor merülés, stb.).

[18] Forrás: saját szerkesztés

A hulladékgyűjtő edény által sugárzott adatokat a központi számítógép tárolja és feldolgozza. Az edényekről gyűjtött statisztikai adatokra (pl. telítődési trend) támaszkodva lehetőség van olyan edények begyűjtésére, amelyek ugyan a begyűjtés pillanatában még nem telítettek, azonban ürítésük indokolt, mert telítődésük rövidesen várható.

Az edény telítődési szintjének ismerete további előnyt jelent, hiszen pontos információt képes szolgáltatni a felhasználó számára is. Az edények telítettségi szintjének felhasználó által történő lekérdezés lehetőségének – internet – következtében pontos adat fog rendelkezésre állni arról, hogy mely hulladékgyűjtő sziget (edénye) képes még a hulladékot befogadni, így elmarad az esetleges edény mellé történő ürítés.

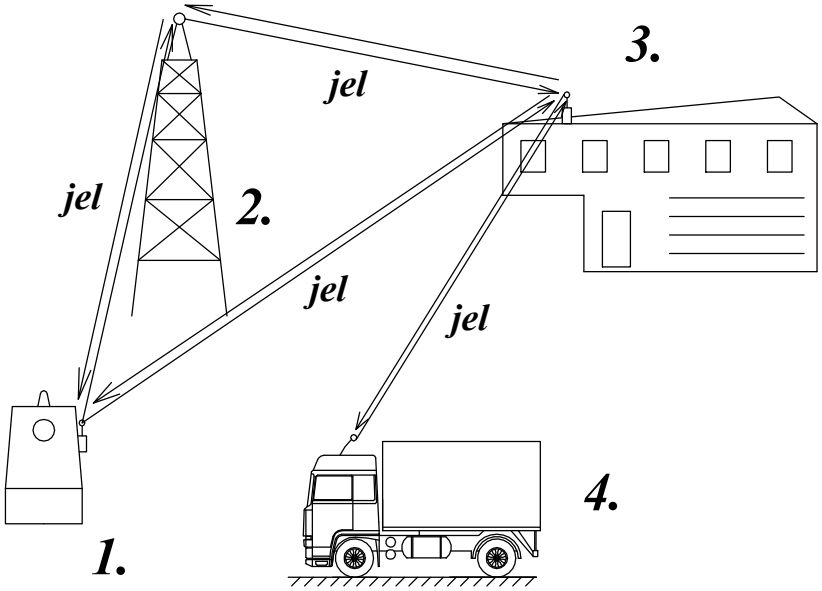
## 5.4. A továbbfejlesztett útvonal optimalizáció

Az útvonaloptimalizációs eszközöket alkalmazva – pl. GIS 3D modelling, ArcGis®, és RouteViewPro™ – különböző szempont szerinti útvonaloptimalizáció fogalmazódhat meg az edények eléréséig, majd a rendszer tovább fejleszthető további egységek (pl. közútkezelő) rendszerhez történő csatolásával. A járattervező központ és közútkezelő között real–time alapon történő kommunikáció következtében a rendszer számításba veszi az esetleges beavatkozásokat, – például útburkolat karbantartás és –felújítás, közlekedési folyamat módosulás – így lehetőség nyílik egy magasabb szintű útvonal definiálására.

## 5.5. Rendszer működésének ismertetése

A real–time alapú infokommunikációs szeletív hulladékgyűjtő rendszer elemei a következők (5.12. ábra):

1. szelektív hulladékgyűjtő edény,
2. jeltovábbító torony,
3. járattervező központ,
4. hulladékgyűjtő jármű.




*5.12. ábra: Real–time alapú infokommunikációs rendszer elemei és jeláramlat*[19]

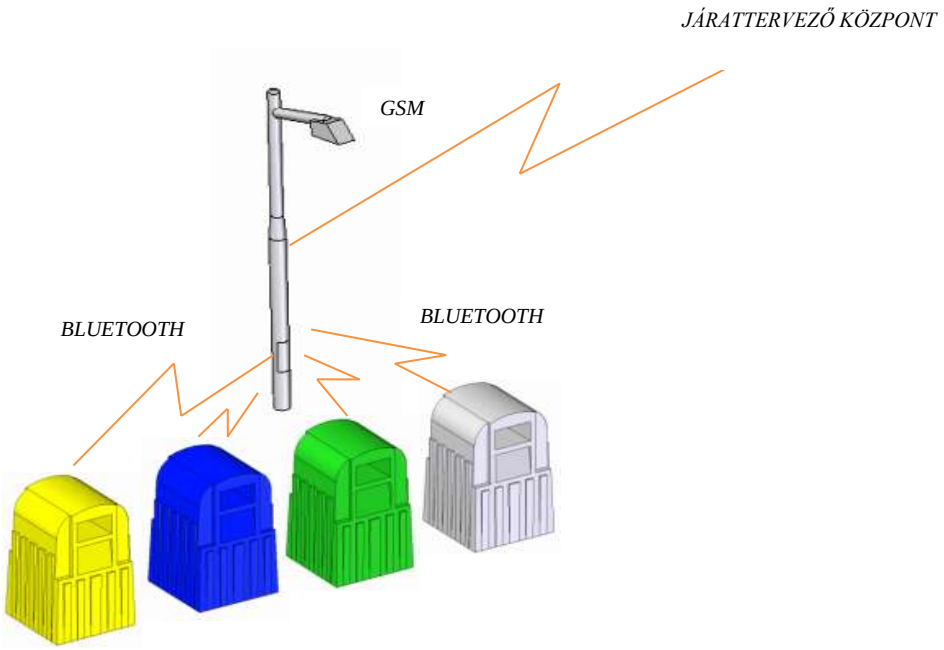
A rendszer működése:

A szelektív hulladékgyűjtő edénybe elhelyezett mérőrendszer adatait a kommunikációs rendszer továbbítja a vevő felé. A jeltovábbításnak két lehetséges változata van:

- az egyik, amikor hosszútávú kommunikációt alkalmazva (pl. GSM) a jel közvetlenül a járattervező központig jut,
- a másik, amikor rövidtávú kommunikációt (5.13. ábra) alkalmazva (pl. Bluetooth) a jel egy hosszútávú kommunikátoron keresztül (jeltovábbító torony) jut el a járattervező központig.

Vikrant és társai [84] a cikkükben egy GSM alapú mikrokontrollert fejlesztettek ki az edény térfogatának mérésekor szükséges adattovábbítás céljából – ennek az eszköznek az alkalmazása teljes mértékben megfelel esetünkben. Ilyen jellegű eszközöket ipari szinten is fejlesztenek, azonban ott a hangsúlyt a 100%–os megbízhatóságra fektetik, mely jelentős költségnövekedést eredményez.

[19] Forrás: saját szerkesztés

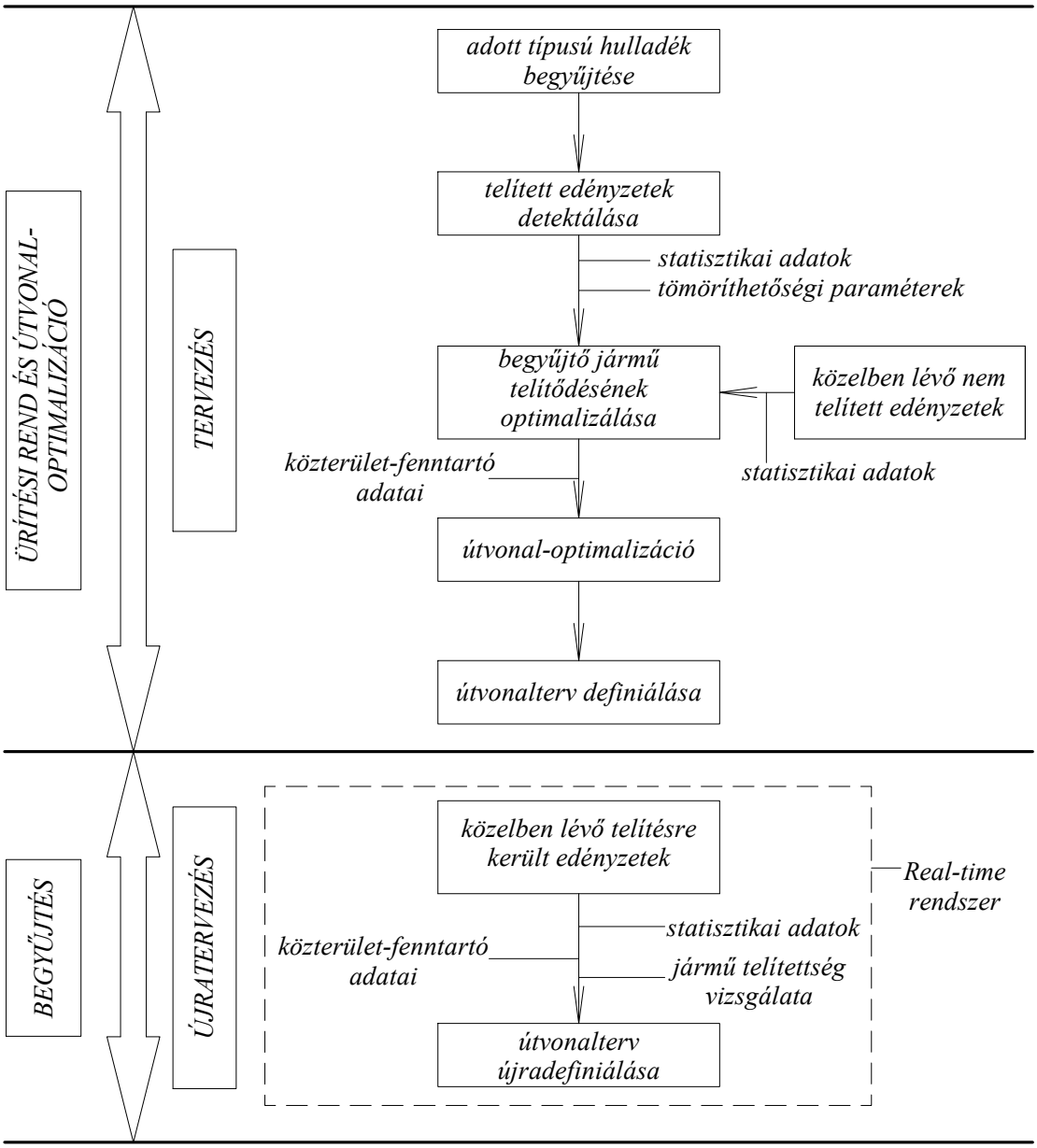



***5.13. ábra: Rendszerben alkalmazható rövid és hosszútávú kommunikáció kombinációja***[20]

Az ilyen jellegű energiaoptimalizált rendszer használata esetén további problémák megjelenésével kell számolni, hiszen a szelektív hulladékgyűjtő szigeten több edényből a rövid (Bluetooth, Wifi) kommunikátor egy hosszútávú (GSM, NET) kommunikátor számára küld adatot, melyet olyan helyen kell elhelyezni, ahol energiaforrás van (pl. lámpatest), így további szolgáltatók közreműködési hajlandóságát kell megvizsgálni.

A járattervező központba került adatok alapján hulladékgyűjtő jármű által bejárandó optimalizált ürítési rend és útvonal definiálódik. A real–time lehetőség alkalmazásával lehetőség van újabb edények esetleges ürítésére a hulladékgyűjtés során. Ezt az újradefiniált útvonalat a járattervező központ a hulladékgyűjtő járművel real–time alapon kommunikálja, mely alapján a jármű módosítja az útvonalát (5.14. ábra).

[20] Forrás: saját szerkesztés




***5.14. ábra: Real–time alapú infokommunikációs rendszer hulladékgyűjtés folyamatábrája (egyszerűsített)***[21]

## 5.6. A szelektív hulladékgyűjtés új real–time alapú infokommunikációs támogatású rendszerének kifejlesztése és közlekedési szempontú optimalizálása – a fejezet összefoglalása

Az előző fejezeteket tanulmányozva és továbbgondolva ebben a fejezetben definiálásra került egy új hulladékgyűjtő rendszer. A rendszer kommunikációt alkalmaz az edény és a járattervező központ között. Az edény által szolgáltatott adatok közé a telítettség és a hulladék

[21] Forrás: saját szerkesztés

tömege, azaz a hulladék átlagsűrűsége tartozik. Ezen adatok segítségével lehetőség nyílik egy hatékonyabb hulladékgyűjtő rendszer megvalósítására, azaz a hulladékgyűjtés optimalizálására, a begyűjtési útvonal definiálására, illetve a real–time alapnak köszönhetően, a begyűjtés során az útvonal újradefiniálására. A fejezet során definiálásra került az első tézisem, Titrik és társai [68, 69, 71]:

***1. TÉZIS: Definiáltam egy új, szelektív hulladékgyűjtő rendszert, amely info–kommunikációs csatolással analizálja az edények telítettségi állapotát, ezzel maximalizálva a hulladékgyűjtő járatok hatékonyságát.***

# 6. A magasabb szintű hulladékgyűjtés definiálásához szükséges egyéni gyűjtési módot jellemző adatok felmérése

Az új rendszer definiálásához pontos statisztikai adatokra van szükség. Az egyes igényelt adatok azonban túl specifikusak, felmérésük a statisztikai hivatal részéről nem bír jelentőséggel, így azok általam kerültek felmérésre. A magasabb szintű hulladékgyűjtés definiálásához speciális kérdések megválaszolására van szükség, amelyek csak egyedi kérdőív alapján érhetők el a lakosságtól. Az általam készített kérdőív a következő területekre terjedt ki:

- PET hulladék szelektíven történő gyűjtésének gyakoriságára,
- alkalmazott PET palack térfogatára,
- a szelektív hulladékgyűjtő edény telítettsége esetén a PET palack melléhelyezéséről,
- a szelektív hulladékgyűjtő edénybe elhelyezett PET palack tömörítettségi állapotáról,
- a szelektív hulladékgyűjtő edénybe elhelyezett PET palack nyitott v. zárt állapotáról.

Az első kérdés a szelektív gyűjtés fejlesztésének fontosságával kapcsolatos, azaz a lakosság aktívan részt vesz–e a szelektív hulladékgyűjtésben. Természetesen ez az adat csak GY–M–S régiót tükrözi, azonban a KSH adatait vizsgálva válasz igen, a lakosság alkalmazza a szelektív gyűjtési módot, és az növekvő tendenciát mutat.

A hulladékgyűjtő jármű telítődésének prognosztizálásához szükséges felmérni, hogy a lakosság milyen térfogatú PET palackban elhelyezett terméket vásárol. Mivel a válaszokból kiderült, hogy ebben a kérdésben a térfogatok széles skálája érintett, ezért szükségessé vált a vásárlási módok vizsgálata.

A településenként eltérő gyűjtési kultúra alapján megfigyelhető, hogy telített szelektív hulladékgyűjtő esetén a felhasználó nem keres újabb szelektív hulladékgyűjtő szigetet, hanem az edény mellé üríti a szelektív hulladékot. Ezt a melléürítést a hulladékgyűjtő járműn tartózkodó személyzet a járműbe gyűjti, mely többletidőt vesz igénybe.

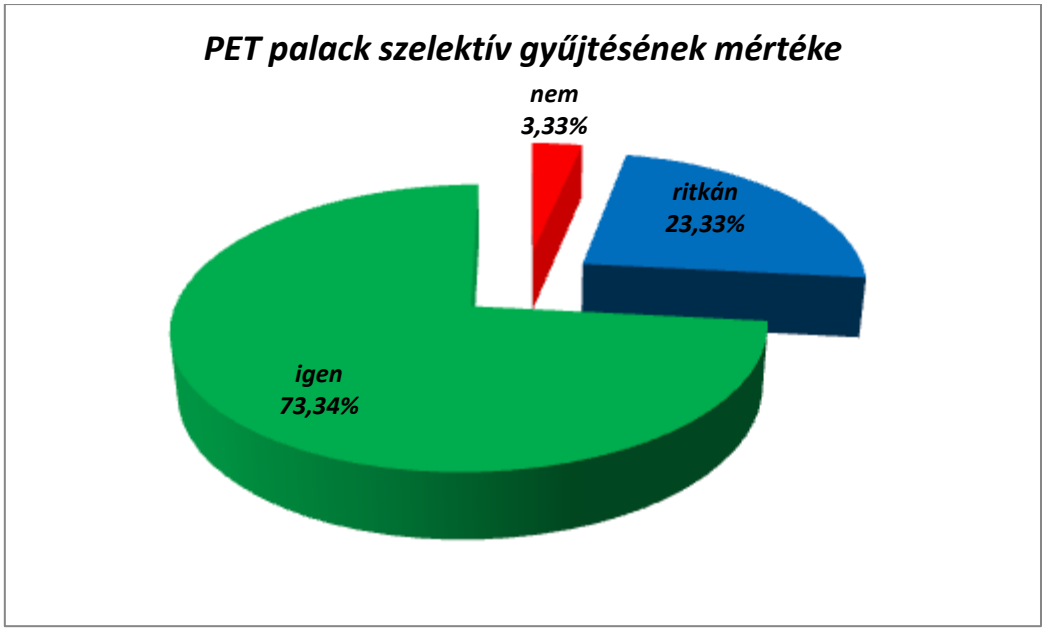
A termék csomagolóanyagára – PET – 1350kg/m$^3$ sűrűség jellemző. A termék csomagolásának tömege alapján és az anyagra jellemző sűrűség segítségével számítható a minimális térfogat, amely csak 100%–os tömörítéssel – azaz esetünkben csak elméleti szinten – érhető el. A tömörítéskor kifejtett reakcióerő változik a PET palack alakjától,

tömörítettségétől, így a továbbtömöríthetőség szempontjából jelentőséggel bír az edénybe elhelyezett PET palack tömörítési állapota.

A PET palackra jellemző anyagot a műanyagok között magas szakítószilárdság jellemzi, melynek oka, hogy a palackba elhelyezett szénsavas ital által kifejtett nyomásnak ellen kell állnia. Ez az érték elérheti akár a 10bár nyomást is. A hulladékgyűjtő jármű által történő tömörítés során több PET palackra kifejtett erő a PET palackban keletkező nyomást nem képes 10bár fölé emelni, így a PET palackról a terhelést levéve az egy légrugóként működik. Megállapítható, hogy a PET hulladék nyitott állapotban történő elhelyezése a szelektív edényben nagyon fontos.

**Az eredmények kiértékelése:**

A kérdőív felmérésének célja nem a lakosság aktivitási szintjének növelési lehetőségével foglalkozik, hanem azzal a kérdéssel, hogy célszerű–e ezt a gyűjtési módot a továbbiakban alkalmazni, továbbfejleszteni. A kérdőív kitöltése alapján – melyet kb. 150 fő töltött ki – PET palackra vetítve a megkérdezettek csupán 3%–a nem alkalmazza a szelektív hulladékgyűjtést (6.1. ábra). A válaszok alapján 23%–a ritkán vesz részt a szeletív gyűjtésben. A megkérdezettek 74% aktívan részt vesz a PET palack szelektív gyűjtésében, így fontosnak tartom ezen gyűjtési mód fejlesztési lehetőségének további vizsgálatokkal történő kiaknázását.




*6.1. ábra: A megkérdezettek részvétele a szelektív PET palack gyűjtésében*[22]

[22] Forrás: saját szerkesztés

A szelektív hulladékgyűjtő edény (1,5m$^3$ és 2,5m$^3$) telítődési, illetve a továbbtömörítési lehetőségek vizsgálatához szükség volt a lakosság által használt PET palackok térfogat alapú felhasználás felmérésére.

A válaszok alapján kiemelt helyen helyezkedik el a 1,5L–es PET palackban elhelyezett termék, amelybe főként ásványvíz került palackozásra. Ebben a csomagolóanyagban található folyékony árucikkből 42% körüli a fogyasztás (6.2. ábra). A 2L –es üdítőitalokra jellemző csomagolás illetve a 0,5L–es csomagolás is nagy arányszámmal képviselteti magát. Ezen adatok felhasználásával további vizsgálatokat kell végrehajtani különböző szempontok alapján.

***6.2. ábra: PET csomagolások térfogat alapú megoszlása lakossági felhasználás alapján[23]***

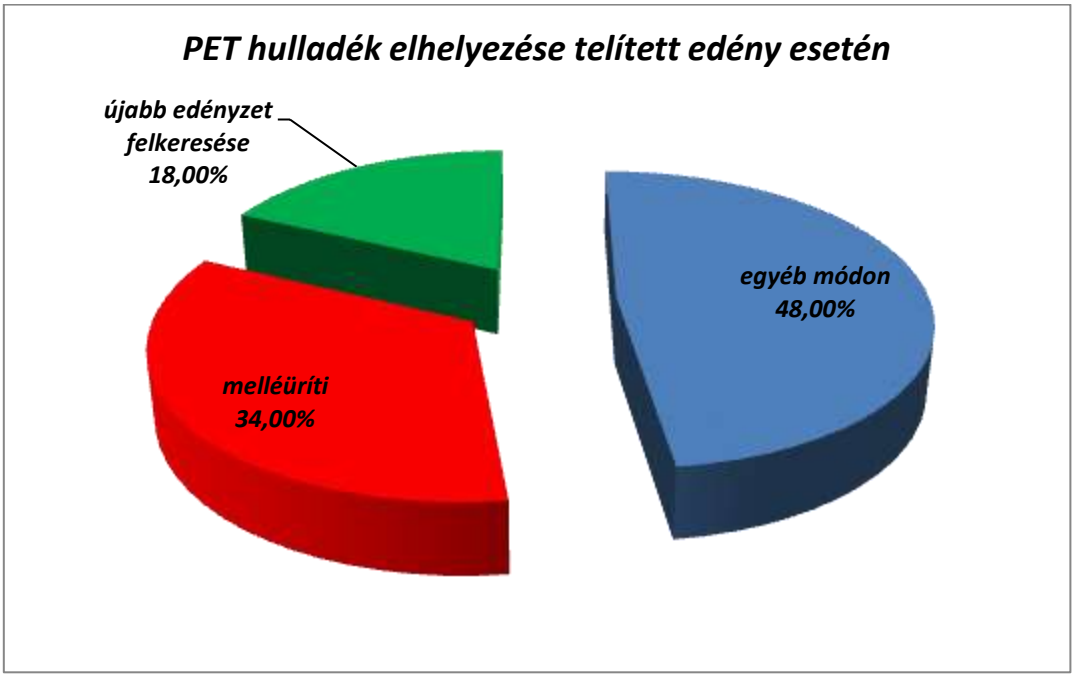
A kérdőív kiértékelése alapján szelektív hulladékgyűjtő edény telítettsége esetén a lakosság nagy része (34%) az edény mellé történő ürítést választja (6.3. ábra). Az ilyen jellegű gyűjtési kultúra több szempont alapján hátrányt jelent, mint például:

- lakosság aktivitásának elvesztése a rendszer működési bizonytalansága miatt,
- köztisztasági problémák,
- negatív példamutatás a többiek számára,
- hulladékgyűjtő cég által végzett többletmunka,

[23] Forrás: saját szerkesztés

- közlekedésbiztonsági problémák a hulladékgyűjtő jármű megnövekedett útfoglalása esetén,
- környezetvédelmi problémák a hulladékgyűjtő jármű megnövekedett üzemelése esetén.

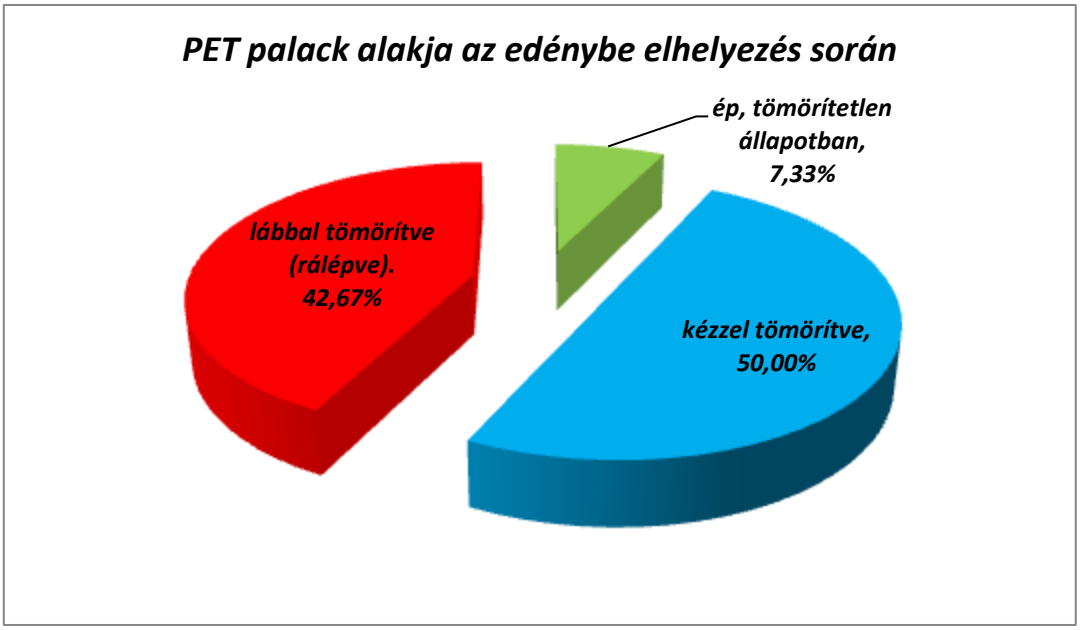
A válaszok alapján a szelektív gyűjtésben pozitív módon résztvevők a szelektív edény telítettsége miatt egyéb módon helyezik el hulladékukat – akár nem megfelelő gyűjtési módot alkalmazva, így 48% aktív gyűjtő az alacsony szolgáltatási színvonal, illetve a rendszer működésébe vetett bizalmatlansága miatt akár fel is hagyhat a szelektív hulladékgyűjtési móddal.




***6.3. ábra: Szelektív edény telítettsége esetén alkalmazott hulladékelhelyezési módok***[24]

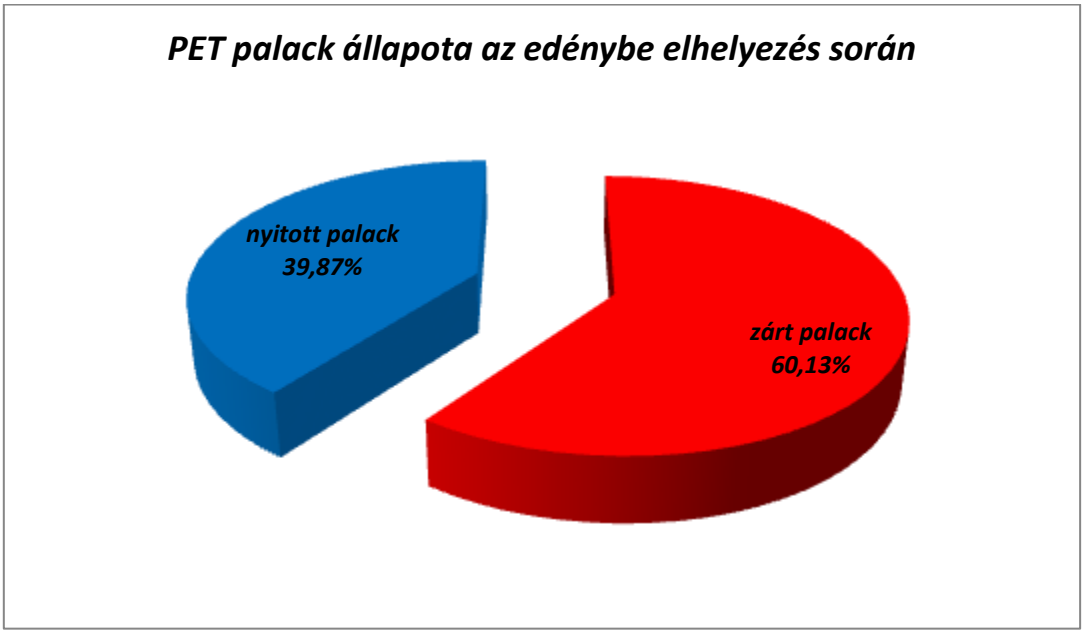
A lakossági szelektív hulladékgyűjtés kultúrája alapján a PET palackok elhelyezésével kapcsolatosan legjellemzőbb a kézi tömörítés alkalmazása, melyet a lakosság 50%–a alkalmaz (6.4. ábra). A gyűjtésben résztvevők 43%–a lábbal történő tömörítést alkalmaznak.

[24] Forrás: saját szerkesztés




*6.4. ábra: PET palackok tömörítési módjának megoszlása*[25]

A gyűjtési kultúra alapján a PET palackok 60,13%–a zárt állapotban kerül a szelektív hulladékgyűjtő edénybe, mely komoly problémát jelenthet továbbtömörítés szempontjából (6.5. ábra).




*6.5. ábra: Szelektív hulladékgyűjtő edénybe elhelyezett PET palack nyitottságának felmérése*[26]

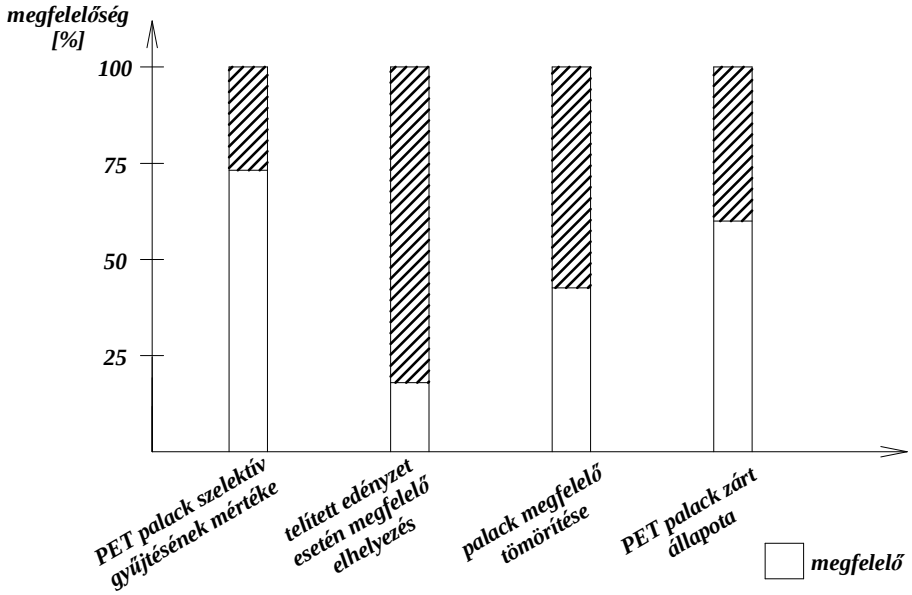
[25] Forrás: saját szerkesztés
[26] Forrás: saját szerkesztés

## 6.1. Magasabb szintű hulladékgyűjtés definiálásához szükséges egyéni gyűjtési módot jellemző adatok felmérése – a fejezet összefoglalása

A lakossági szelektív hulladékgyűjtés (PET) területén is nyílnak lehetőségek a továbbfejlesztésre. A háztartásokban szelektíven gyűjtők aránya magasnak mondható, azonban a gyűjtési mód az optimálishoz képest elmarad. A palack tömörítési kérdése és nyitott állapota nem csak a továbbtömörítés és hulladék átlagsűrűség növelését idézi elő, hanem a felhasználó számára további előnyökkel jár, mint például:

- megfelelően tömörített palack kisebb helyet foglal az otthoni gyűjtés esetén,
- felhasználó által tömörítésre kerülő PET palack zárófedelének eltávolítása után nincs szükség visszahelyezésre.

Célszerűnek tartom a lakosság figyelmét felhívni a PET palack megfelelő gyűjtésére és az edénybe történő elhelyezésére. További fejlesztési feladata van a szolgáltatónak, ugyanis telített edény esetén a felhasználók mindössze 18%–a keres újabb edényt, amely képes a hulladékát befogadni (6.6. ábra).




*6.6. ábra: Szelektív hulladékgyűjtés során az optimális szinttől elmaradó gyűjtési kultúra*[27]

A Fazekas István és társa [85] által szerkesztett mű részletesen beszámol a hulladékok kezelésének módjáról, konkrét adatokat közölve, melyből kiderül, hogy a szelektív hulladékgyűjtés területén csupán a műanyagnál nem sikerült a várt szintet teljesíteni. – a szolgáltatási színvonal fejlesztésével lehetőség nyílik a gyűjtési kedv növelésére.

[27] Forrás: saját szerkesztés

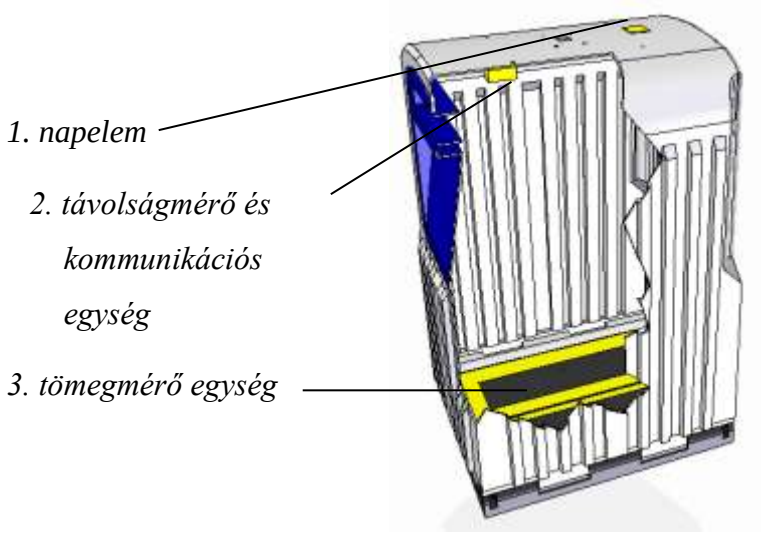
# 7. A real–time alapú infokommunikációs szelektív hulladékgyűjtő rendszer járművének kapacitás-kihasználtsági vizsgálata

Az újrahasznosítható anyagok begyűjtése, az edények ürítése tapasztalati érték alapján inverz logisztikai folyamat alkalmazásával történik. Az edények ürítése során jelenleg a hulladékgyűjtő jármű telítődése nem prognosztizálható, így lehetséges olyan begyűjtés, ahol a jármű kapacitásának telítődése a lerakó központtól legkedvezőtlenebb helyen történik, ezzel csökkentve a begyűjtés hatékonyságát.

Jelen vizsgálat célja – a szelektív hulladékgyűjtés hatékonyságának maximalizálásához szükséges – az edényben elhelyezett hulladékok fő paramétereinek, mint térfogat és tömeg a járattervező központtal történő ismertetése. Ezen paraméterek segítségével meghatározható a hulladékgyűjtő járműbe üríthető edények száma, azaz prognosztizálható a jármű telítődésének időpontja. A mérés módja, hogy az egyes szelektív hulladékgyűjtő szigeteken elhelyezett edényeket telítettségmérő és tömegmérő eszközzel látják el és azok a járattervező központtal real–time alapon kommunikálnak.

## 7.1. A szelektív hulladékgyűjtő edénybe elhelyezett hulladék paramétereinek mérési lehetősége

A mérési technológiák fejlődésének köszönhetően lehetőség nyílt többmódú mérések egyszerű összehangolására. A különböző kivitelű tömegmérők és térfogatmérők kombináltan edénybe történő integrálása lehetővé teszi az edénybe elhelyezett hulladék pontos térfogatának és tömegének mérését (7.1. ábra). Az edénybe elhelyezett szelektív hulladék átlagsűrűsége meghatározható a mért paraméterek alapján. A mért értékből becsülni lehet a hulladékgyűjtő járműben történő továbbtömörítés lehetőségét. Az adott értéket a jármű kapacitásához rendelve lehetőség nyílik a jármű telítődésének becslésére.




***7.1. ábra: Szelektív hulladékgyűjtő edénybe integrált térfogat– és tömegmérő eszköz[28]***

**A rendszer működése:**

A szelektív hulladékgyűjtő edénybe elhelyezett távolságmérő egység segítségével az edény telítettsége mérhető. A telítettség és az edényre jellemző dimenziók alapján számolható az edényben elhelyezett hulladék térfogata. A tömegmérő egység mérése alapján az adott térfogatú hulladék pontos tömegét kapjuk meg. A két paraméter – térfogat és tömeg – alapján meghatározhatjuk a tömörítés lehetséges mértékét, (ez az érték a tömörítő erőtől, és a hulladék homogenitásától is függ) így az adatokból a hulladékgyűjtő jármű telítődése prognosztizálható – ezzel lehetővé téve a begyűjtés ezen kritériumon alapuló optimalizálását.

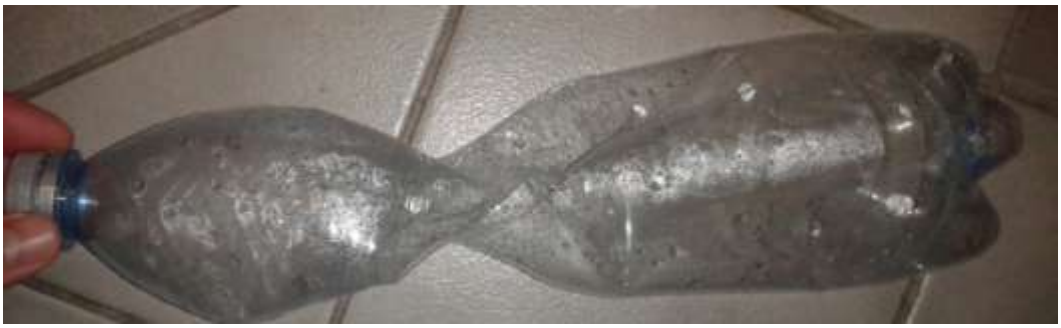
## 7.2. PET palackok paramétereinek vizsgálata

A tömörített PET palackok térfogata nem folyadékkiszorítás elvén került meghatározásra, hiszen a palack alján lévő „csillag” kiképzés „réseit” nem képes másik PET palack kitölteni, így ennek a térfogatnak a nagysága jelentősen nem befolyásolja a vizsgálatot.

**A PET palack térfogatváltozásának vizsgálatához alkalmazott módszerek ismertetése:**

- kézi tömörítés (7.2. ábra): a legegyszerűbb és leggyakrabban alkalmazott tömörítési mód PET palack esetén. A tömörítésre jellemző, hogy a PET palack csak középen, átmérőben kerül tömörítésre. A PET palack alja és betöltőnyílása körüli rész „sértetlen” marad.

[28] Forrás: saját szerkesztés



*7.2. ábra: Kézi tömörítés alkalmazása 1,5L–es PET palackon*[29]

- lábbal történő tömörítés (7.3. ábra): a PET palack teljes hosszában deformációt szenved – átmérőben – így megfelelő tömörítést érhetünk el. A teljes lapítás során, biztosítjuk a térfogatcsökkenés mellett a megfelelő alak elérését is.

*7.3. ábra: Lábbal történő tömörítés alkalmazása 1,5L–es PET palackon*[30]

- speciális tömörítő egység: a Széchenyi István Egyetem „A” büféjénél található tömörítő egység került alkalmazásra a vizsgálatok végrehajtásához. A PET palack magasságában – átmérőre merőlegesen – szenved alakváltozást (7.4. ábra).

*7.4. ábra: PET palack tömörítő egység*[31]

[29] Forrás: saját szerkesztés
[30] Forrás: saját szerkesztés
[31] Forrás: saját szerkesztés

A tömörítés után kapott forma CAD szoftver segítségével került modellezésre . A modell egyes részein egyszerűsített forma került definiálásra. A vizsgálatoptimalizált modell a szimuláció lefolyásának gyorsaságát is növeli, azaz olyan valóságos formát helyettesítő egyszerűsített modell került alkalmazásra, amely nagy pontossággal képes a mérések valóságát szimulálni. A szimulációs vizsgálathoz alkalmazott PET palackok vizsgálatoptimalizált modelljét az alábbi táblázatok (7.1.–7.5. táblázat) szemléltetik.

Vizsgálatokat végeztem el a kereskedelmi forgalomban legjellemzőbb folyékony élelmiszer palackozására használt termékeken. A következő térfogatú PET palackok kerültek megvizsgálásra:

- 0,5L,
- 1L,
- 1,5L,
- 2L,
- 2,5L.

Az anyagra jellemző sűrűség: 1350kg/$m^3$.

**A vizsgálatok a következőkre terjedtek ki:**

- Tömörítetlen PET palack vizsgálata: a PET palack mindenféle tömörítés nélkül, deformálatlanul került vizsgálatra. A PET palack menetes nyaka nem került tömörítésre, nem deformálódott.
- Kézzel tömörített PET palack vizsgálata: a PET palack tömörítése átmérőben kézzel történt. A tömörítés a PET palack egy helyen történő összenyomására vonatkozik. A PET palack menetes nyaka nem került tömörítésre, nem deformálódott. A tömörítő erőt levéve a PET palack kirugózott, így térfogat növekedése kb. 10–25%–osra tehető (a tömörítő erővel terhelt PET palackhoz képest).
- Lábbal tömörített PET palack vizsgálata: a PET palack tömörítése átmérőben történt végig a teljes palackon. A tömörítés eredménye egy lapos palack lett. A PET palack menetes nyaka nem került tömörítésre, nem deformálódott. A tömörítő erőt levéve a PET palack kirugózott, így térfogat növekedése kb. 5–10%–osra tehető (a tömörítő erővel terhelt PET palackhoz képest).
- Kézi tömörítő szerkezetet alkalmazva: a PET palack tömörítése magasságában történt – átmérőre merőlegesen. A tömörítés a PET palack teljes magasságában ment végbe.

A PET palack menetes nyaka nem került tömörítésre, nem deformálódott. A tömörítő erőt levéve a PET palack kirugózott, így térfogat növekedése kb. 30–40%–osra tehető (a tömörítő erővel terhelt PET palackhoz képest).

***1. vizsgálat: 0,5L PET palack paramétereinek vizsgálata***

| ***Csomagolás*** | ***0,5L PET palack*** | | | |
|---|---|---|---|---|
| ***Tömörítés fajtája*** | *–* | *kézzel* | *rálépve* | *kézi tömörítőt alkalmazva* |
| | | | | |
| ***Tömeg*** | *18g* | | | |
| ***Térfogat*** | *520cm$^3$* | *470 cm$^3$* | *390 cm$^3$* | *440 cm$^3$* |
| ***Térfogat csökkenés*** | *–* | *–10%* | *–25%* | *–16%* |
| ***Átlagsűrűség*** | *0,03461g/cm$^3$* | *0,03829g/cm$^3$* | *0,04615 g/cm$^3$* | *0,40909 g/cm$^3$* |

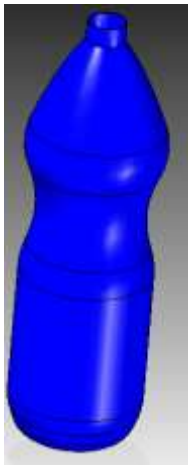
***7.1. táblázat: 0,5L PET palack főbb paraméterei***[32]

A vizsgálat alapján a következő állapítható meg:

- a kézi tömörítés mértéke elég csekély,
- 25%–os tömörítést lábbal történő rálépéssel érhetünk el,
- tömörítő eszközt is alkalmazva a tömörítés mértéke mindössze 16%–os.

[32] Forrás: saját szerkesztés

***2. vizsgálat: 1,0L PET palack paramétereinek vizsgálata***

| ***Csomagolás*** | ***1,0L PET palack*** | | | |
|---|---|---|---|---|
| ***Tömörítés fajtája*** | *–* | *kézzel* | *rálépve* | *kézi tömörítőt alkalmazva* |
| |  | | | |
| ***Tömeg*** | *28g* | | | |
| ***Térfogat*** | *1030cm$^3$* | *540 cm$^3$* | *276 cm$^3$* | *595 cm$^3$* |
| ***Térfogat csökkenés*** | *–* | *–48%* | *–73%* | *–42%* |
| ***Átlagsűrűség*** | *0,02718 g/cm$^3$* | *0,05185 g/cm$^3$* | *0,10144 g/cm$^3$* | *0,04705 g/cm$^3$* |

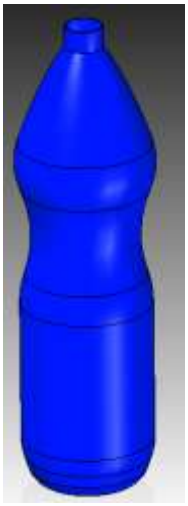
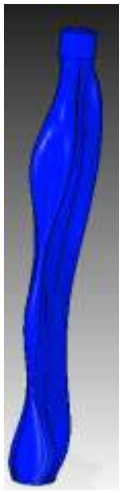
***7.2. táblázat: 1,0L PET palack főbb paraméterei***[33]

A vizsgálat alapján a következő állapítható meg:

- kézi tömörítés esetén kb. 50%–kal tudjuk csökkenteni a PET palack térfogatát,
- 73%–os tömörítést lábbal történő rálépéssel érhetünk el,
- tömörítő eszközt is alkalmazva a tömörítés mértéke 42%–os, amely elég rossz hatásfokot mutat a PET palack kirugózása miatt.

[33] Forrás: saját szerkesztés

### *3. vizsgálat: 1,5L PET palack paramétereinek vizsgálata*

| ***Csomagolás*** | ***1,5L PET palack*** | | | |
|---|---|---|---|---|
| ***Tömörítés fajtája*** | *–* | *kézzel* | *rálépve* | *kézi tömörítőt alkalmazva* |
| |  | |  | |
| ***Tömeg*** | *30g* | | | |
| ***Térfogat*** | *1555cm$^3$* | *920 cm$^3$* | *470 cm$^3$* | *775 cm$^3$* |
| ***Térfogat csökkenés*** | *–* | *–40%* | *–69%* | *–51%* |
| ***Átlagsűrűség*** | *0,01929 g/cm$^3$* | *0,03260 g/cm$^3$* | *0,06383 g/cm$^3$* | *0,04983 g/cm$^3$* |

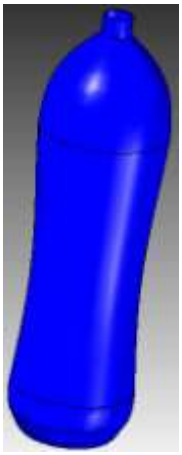
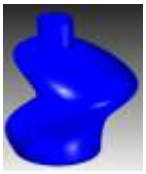
***7.3. táblázat: 1,5L PET palack főbb paraméterei***[34]

A vizsgálat alapján a következő állapítható meg:

- kézi tömörítés esetén kb. 40%–kal tudjuk csökkenteni a PET palack térfogatát,
- kb. 70%–os tömörítést lábbal történő rálépéssel érhetünk el,
- tömörítő eszközt is alkalmazva a tömörítés mértéke kb. 50%–os, amely elég rossz hatásfokot mutat a PET palack kirugózása miatt.

[34] Forrás: saját szerkesztés

### *4. vizsgálat: 2,0L PET palack paramétereinek vizsgálata*

| ***Csomagolás*** | ***2,0L PET palack*** | | | |
|---|---|---|---|---|
| ***Tömörítés fajtája*** | *–* | *kézzel* | *rálépve* | *kézi tömörítőt alkalmazva* |
| |  | | |  |
| ***Tömeg*** | *37g* | | | |
| ***Térfogat*** | *2045cm$^3$* | *930 cm$^3$* | *444 cm$^3$* | *930 cm$^3$* |
| ***Térfogat csökkenés*** | *–* | *–54%* | *–78%* | *–54%* |
| ***Átlagsűrűség*** | *0,01809 g/cm$^3$* | *0,03978 g/cm$^3$* | *0,08333 g/cm$^3$* | *0,03978 g/cm$^3$* |

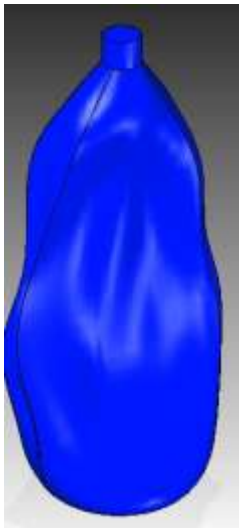
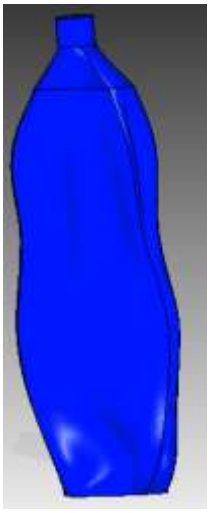
***7.4. táblázat: 2,0L PET palack főbb paraméterei***[35]

A vizsgálat alapján a következő állapítható meg:

- kézi tömörítés esetén kb. 55%–kal tudjuk csökkenteni a PET palack térfogatát,
- kb. 80%–os tömörítést lábbal történő rálépéssel érhetünk el,
- tömörítő eszközt is alkalmazva a tömörítés mértéke kb. 55%–os, amely a kézzel történő tömörítés mértékének felel meg.

[35] Forrás: saját szerkesztés

***5. vizsgálat: 2,5L PET palack paramétereinek vizsgálata***

| ***Csomagolás*** | ***2,5L PET palack*** | | | |
|---|---|---|---|---|
| ***Tömörítés fajtája*** | *–* | *kézzel* | *rálépve* | *kézi tömörítőt alkalmazva* |
| | |  |  | |
| ***Tömeg*** | *45g* | | | |
| ***Térfogat*** | *2540cm$^3$* | *1230 cm$^3$* | *590 cm$^3$* | *960 cm$^3$* |
| ***Térfogat csökkenés*** | *–* | *–52%* | *–77%* | *–62%* |
| ***Átlagsűrűség*** | *0,01771 g/cm$^3$* | *0,03658 g/cm$^3$* | *0,07627 g/cm$^3$* | *0,04687 g/cm$^3$* |

***7.5. táblázat: 2,5L PET palack főbb paraméterei[36]***

A vizsgálat alapján a következő állapítható meg:

- kézi tömörítés esetén kb. 50%–kal tudjuk csökkenteni a PET palack térfogatát,
- kb. 80%–os tömörítést lábbal történő rálépéssel érhetünk el,
- tömörítő eszközt is alkalmazva a tömörítés mértéke kb. 62%–os.

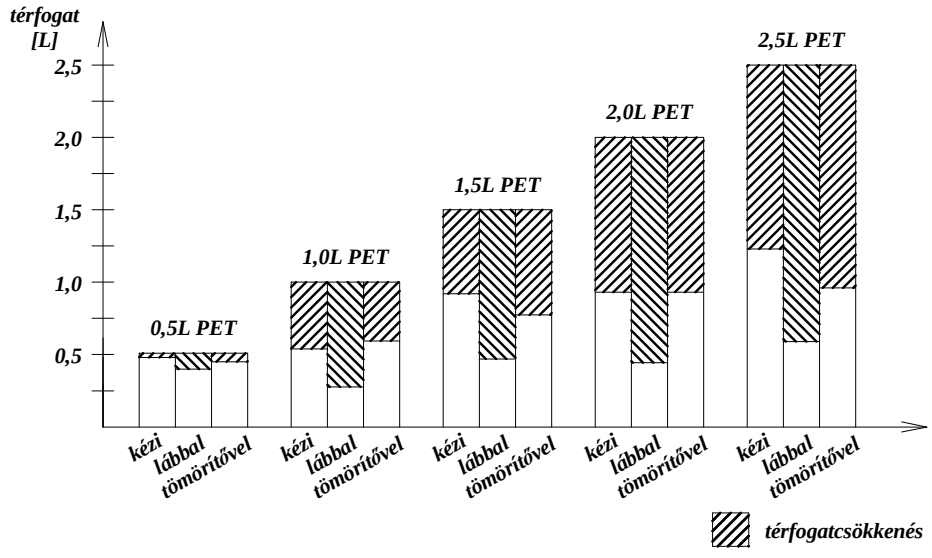
[36] Forrás: saját szerkesztés

A vizsgált PET palackok adatainak táblázatos összefoglalása (7.6. táblázat):

| *Csomagolás fajtája (PET)* | *Palack tömege [g]* | *Gyári térfogat [cm$^3$]* | *Tömörítési mód* | *Tömörített térfogat [cm$^3$]* | *Térfogat csökkenés [%]* |
|---|---|---|---|---|---|
| ***0,5L*** | *18* | *500* | *kézi* | *470* | *10* |
| | | | *láb segítségével* | *390* | *25* |
| | | | *tömörítővel* | *440* | *16* |
| ***1,0L*** | *28* | *1000* | *kézi* | *540* | *48* |
| | | | *láb segítségével* | *276* | *73* |
| | | | *tömörítővel* | *595* | *42* |
| ***1,5L*** | *30* | *1500* | *kézi* | *920* | *40* |
| | | | *láb segítségével* | *470* | *69* |
| | | | *tömörítővel* | *775* | *51* |
| ***2,0L*** | *37* | *2000* | *kézi* | *930* | *54* |
| | | | *láb segítségével* | *444* | *78* |
| | | | *tömörítővel* | *930* | *54* |
| ***2,5L*** | *45* | *2500* | *kézi* | *1230* | *52* |
| | | | *láb segítségével* | *590* | *77* |
| | | | *tömörítővel* | *960* | *62* |

***7.6. táblázat: PET palackok paraméterei (táblázatos összefoglalás)***[37]

A táblázat adatait és a 7.5. ábrát tanulmányozva, a megfelelő tömörítési módot alkalmazva akár 70–80%–os tömörítés is elérhető PET palack esetén. Ez a tömörítési érték a PET palack nyitott állapotában –zárókupak nélkül – lehetséges.




***7.5. ábra: Térfogatcsökkenés szemléltetése az egyes PET palackoknál különböző tömörítés során***[38]

[37] Forrás: saját szerkesztés
[38] Forrás: saját szerkesztés

## A PET palack térfogatcsökkenésének vizsgálata párhuzamos préselést alkalmazva a palack átmérőjére

Vizsgálatokat végeztem a különböző térfogatú PET palackok átmérőben történő tömörítés során szenvedett térfogatcsökkenés mérésére. Folyadékkiszorításon alapuló mérést alkalmaztam a vizsgálat magas pontosságú elvégzéséhez.

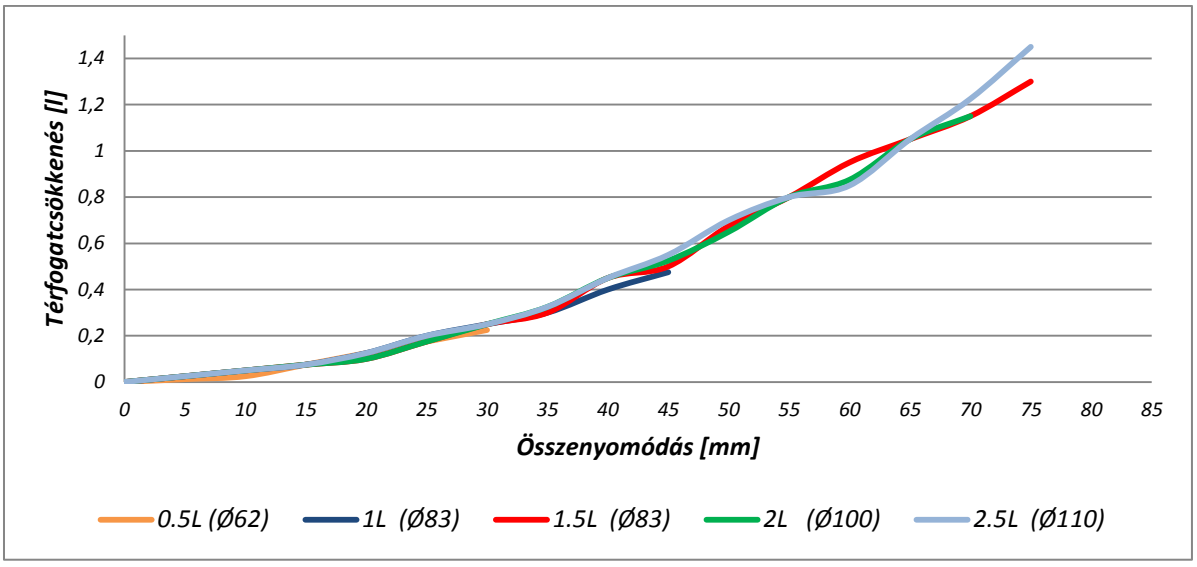
A vizsgálat két párhuzamos felület között útmérés és kiszorított térfogat mérése segítségével (7.6. ábra) történt. A folyadékkal teljesen telített PET palack tömörítésekor szenvedett térfogatcsökkenés során a folyadék egy mérőedénybe került elvezetésre, ahol a mért értékek leolvasásra kerültek. A PET palack térfogatcsökkenés értékei 5mm–es lépcsőnkénti összenyomás során kerültek rögzítésre. A tömörítés mértéke a PET palack betöltőnyílásának nyakáig – vastagabb, merevebb anyag – került végrehajtásra.

***7.6. ábra: 2,5L–es PET palack vizsgálata[39]***

[39] Forrás: saját szerkesztés

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **0.5L (Ø62)** | **1L (Ø83)** | **1.5L (Ø83)** | **2L (Ø100)** | **2.5L (Ø110)** |
| **összenyomás [mm]** | **Kiszorított térfogat [L]** | | | | |
| **0** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **5** | 0,0125 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 |
| **10** | 0,025 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| **15** | 0,075 | 0,075 | 0,075 | 0,075 | 0,075 |
| **20** | 0,125 | 0,125 | 0,1 | 0,1 | 0,125 |
| **25** | 0,175 | 0,2 | 0,175 | 0,175 | 0,2 |
| **30** | 0,225 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| **35** | | 0,3 | 0,3 | 0,325 | 0,325 |
| **40** | | 0,4 | 0,45 | 0,45 | 0,45 |
| **45** | | 0,475 | 0,5 | 0,525 | 0,55 |
| **50** | | | 0,675 | 0,65 | 0,7 |
| **55** | | | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| **60** | | | 0,95 | 0,875 | 0,85 |
| **65** | | | 1,05 | 1,05 | 1,05 |
| **70** | | | 1,15 | 1,15 | 1,225 |
| **75** | | | 1,3 | | 1,45 |

***7.7. táblázat: PET palackok térfogatcsökkenése párhuzamos felületű átmérőben történő összenyomás esetén[40]***



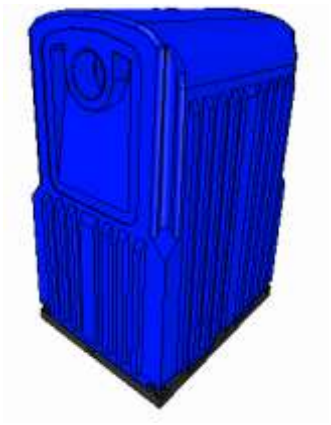

***7.7.ábra: PET palackok térfogatcsökkenése párhuzamos felületű átmérőben történő összenyomás esetén (diagramban történő megjelenítés)[41]***

[40] Forrás: saját szerkesztés
[41] Forrás: saját szerkesztés

## 7.3. A hulladékgyűjtő edény telítődésének vizsgálata

Az új real – time alapú hulladékgyűjtő rendszer működésének egyik alapja a hulladékgyűjtő edénybe elhelyezett hulladék paraméterinek pontos ismerete. A szakirodalmakat tanulmányozva jelenleg nem áll rendelkezésre olyan vizsgálati adat, amely ismertetné az edénybe behelyezett különböző tömörítettségű hulladékok továbbtömörítési százalékát.

Az edény telítődés vizsgálatához a POLYDUCT [86] cég által gyártott és leggyakrabban alkalmazott szelektív hulladékgyűjtő edények (7.8. ábra) és különböző térfogatú és formájú PET palackok kerültek alkalmazásra.



***7.8. ábra: 1,5m$^3$szelektív hulladékgyűjtő edény 3D–s terve[42]***

**Az edény telítődésének vizsgálata szimulációk segítségével történt a következők alapján:**

1. vizsgálati csoport: 1,5m$^3$–es edény telítődés vizsgálata a következő PET palackokkal:
    - 0,5L, 1L, 1,5L, 2L, 2,5L tömörítetlen PET palackot alkalmazva,
    - 0,5L, 1L, 1,5L, 2L, 2,5L kézi tömörítésű PET palackot alkalmazva,
    - 0,5L, 1L, 1,5L, 2L, 2,5L láb segítségével tömörített PET palackot alkalmazva,
    - 0,5L, 1L, 1,5L, 2L, 2,5L kézi működtetésű tömörítőben tömörített PET palackot alkalmazva,
    - homogén 1,5L tömörítetlen PET palackot alkalmazva,
    - homogén 1,5L kézi tömörítésű PET palackot alkalmazva,
    - homogén 1,5L láb segítségével tömörített PET palackot alkalmazva,
    - homogén 2,0L tömörítetlen PET palackot alkalmazva,
    - homogén 2,0L kézi tömörítésű PET palackot alkalmazva,
    - homogén 2,0L láb segítségével tömörített PET palackot alkalmazva,

[42] Forrás: www.polyduct.hu

2. vizsgálati csoport: 2,5m$^3$–es edény telítődés vizsgálata a következő PET palackokkal:
    - 0,5L, 1L, 1,5L, 2L, 2,5L tömörítetlen PET palackot alkalmazva,
    - 0,5L, 1L, 1,5L, 2L, 2,5L kézi tömörítésű PET palackot alkalmazva,
    - 0,5L, 1L, 1,5L, 2L, 2,5L láb segítségével tömörített PET palackot alkalmazva,
    - 0,5L, 1L, 1,5L, 2L, 2,5L kézi működtetésű tömörítőben tömörített PET palackot alkalmazva,
    - homogén 1,5L tömörítetlen PET palackot alkalmazva,
    - homogén 1,5L kézi tömörítésű PET palackot alkalmazva,
    - homogén 1,5L láb segítségével tömörített PET palackot alkalmazva,

A vizsgálatok során az egyes térfogatú palackok alkalmazása az előzetesen kérdőívben felmértek alapján történt, amely szerint a:

- 0,5L–es palack 21%–ban,
- 1L–es palack 9%–ban,
- 1,5L–es palack 41%–ban,
- 2L–es palack 25%–ban,
- 2,5L–es palack 4%–ban vett részt a vizsgálatokban.

A vizsgálatok adatai az alulról üríthető edény megfelelő módon (bedobónyílásig) telített szintjéig kerültek lekérdezésre (7.9., 7.10. ábra).

***7.9. ábra: 1,5m$^3$ edény lábbal préselt PET palackkal telítve***[43]

***7.10. ábra: lábbal préselt PET palackok elhelyezkedése a 1,5m$^3$–es edényben***[44]

[43] Forrás: saját szerkesztés
[44] Forrás: saját szerkesztés

| *Edény mérete* | *Hulladék fajtája* | *Tömörítési mód* | *Hulladék [db]* | *Hulladék tömege [g]* | *Hulladék átl. sűrűsége [kg/m$^3$]* | *Hasznosság növekedés* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *1500L* | *vegyes PET palack* | *nincs* | *~480* | *~14400* | *9,6* | *–* |
| | | *kézi tömörítés* | *~500* | *~15000* | *10* | *+4,2%* |
| | | *lábbal történő tömörítés* | *~852* | *~25560* | *17,04* | *+77,5%* |
| | | *tömörítővel* | *~995* | *~29850* | *19,90* | *+107,3%* |
| | | | | | | |
| *2500L* | *vegyes PET palack* | *nincs* | *~872* | *~26160* | *10,46* | *–* |
| | | *kézi tömörítés* | *~890* | *~26700* | *10,68* | *+2,1%* |
| | | *lábbal történő tömörítés* | *~1345* | *~40350* | *16,14* | *+54,3%* |
| | | *tömörítővel* | *~1720* | *~51600* | *20,64* | *+97,3%* |
| | | | | | | |
| *1500L* | *1,5L PET palack* | *nincs* | *~405* | *~12150* | *8,1* | *–* |
| | | *kézi tömörítés* | *~482* | *~14460* | *9,64* | *+19,0%* |
| | | *lábbal történő tömörítés* | *~790* | *~23700* | *15,8* | *+95,1%* |
| | | | | | | |
| *2500L* | *1,5L PET palack* | *nincs* | *~810* | *~24300* | *9,72* | *–* |
| | | *kézi tömörítés* | *~934* | *~28020* | *11,21* | *+15,3%* |
| | | *lábbal történő tömörítés* | *~1410* | *~42300* | *16,92* | *+74,1%* |

***7.8. táblázat: Hulladékgyűjtő edény jellemzői különböző tömörítésű PET palackok esetén***[45]

A méréseket (7.7. táblázat) és szimulációs vizsgálatot (7.8. táblázat) tanulmányozva megállapítható, hogy PET palack esetén a térfogati csökkenés (tömörítés) mellett nagy jelentőséggel bír a palack tömörített formája. A vizsgálat alapján elmondható, hogy:

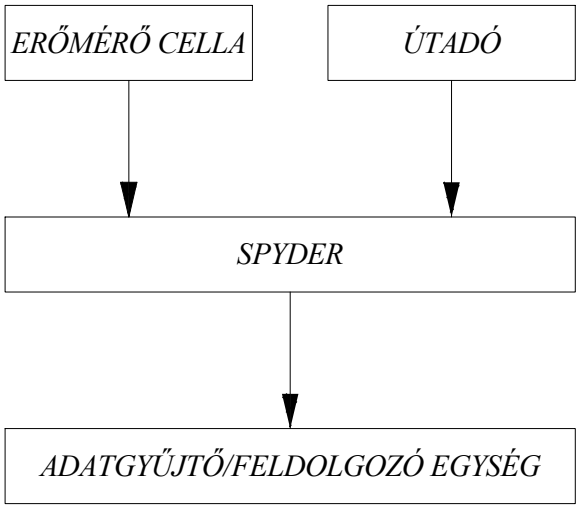
- A táblázatok adatai alapján a kézzel történő tömörítés esetén létrejött átlagos 40,8%–os térfogatcsökkenés mellett az edénybe helyezett palackok maximális darabszáma mindösszesen 2–5% növekedett.

[45] Forrás: saját szerkesztés

- A lábbal történő tömörítés során átlagosan 64,4%–os tömörítés érhető el a különböző PET csomagolások esetében, mely következtében az edénybe 50–70%–kal több hulladék üríthető.
- A speciális tömörítő egységet alkalmazva a tömörítés átlagosan 45%–os. A térfogatcsökkenés mellett a PET palack deformálódása miatt nagyságrendekkel több hulladék üríthető az egyes edényekbe, amely akár 90–110%–kal több mint a tömörítés nélküli palackok esetében.
- A lakossági használat esetén tömörítő egység alkalmazása nem vehető figyelembe, ezért fontos szempont az, hogy a palack formája teljes hosszban (átmérőben) lapítva legyen, így a tömörítéssel – megfelelő formával – az edénybe elhelyezhető PET palackok száma 50–70%–kal több is lehet.

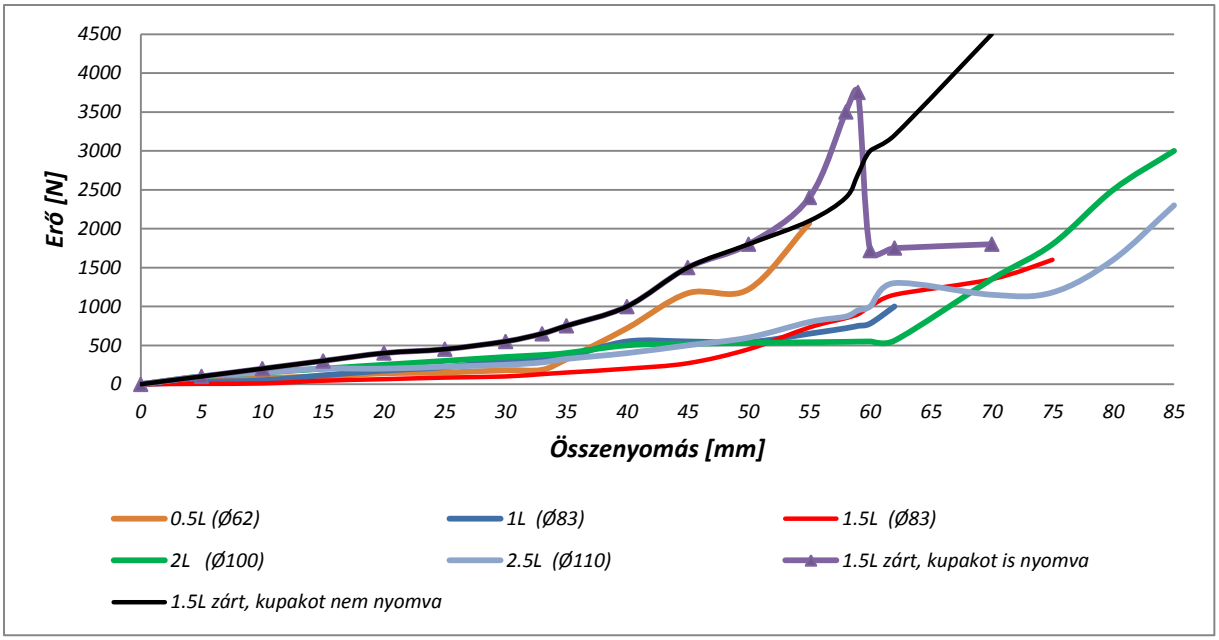
## 7.4. PET palack tömörítésének laboratóriumi vizsgálata

A laboratóriumi vizsgálat során különböző térfogatú nyitott és zárt PET palack összenyomásakor kapott erő–elmozdulás értékek lettek rögzítve. A tömörítés a palack teljes hosszán – átmérőben – történt statikus terheléssel, melyről a 7.12. ábra erő–elmozdulás diagramja ad tájékoztatást. A mérőrendszer blokkvázlatát a 7.11. ábra szemlélteti.




***7.11. ábra: Mérőrendszer blokkvázlata[46]***

[46] Forrás: saját szerkesztés




***7.12. ábra: Különböző térfogatú nyitott és zárt PET palackok tömörítésének erő–elmozdulás diagramja***[47]

A vizsgálat alapján elmondható, hogy a nyitott állapotú tömörítetlen PET palackok által kifejtett ellenhatás 30–35mm összenyomásig csekély, és nem figyelhető meg jelentős eltérés a különböző térfogatú palackok között. A zárt állapotú tömörítetlen PET palack jelenti a tömörítés szempontjából a legnagyobb problémát, hiszen a kupak alakváltozása nélkül az összenyomás hatására a palackban keletkező túlnyomás nem távozik, a terhelés megszűnésekor pedig a defektet nem szenvedő palack „rugóként” viselkedik (7.12. ábra fekete vonal, 7.13. ábra). A zárt PET palack kupakját is terhelve, az alakváltozást szenved, így a túlnyomás képes távozni a palackból (7.12. ábra lila vonal).

***7.13. ábra: 1,5L térfogatú zárt PET palack 70mm összenyomás utáni kirugózott állapota***[48]

[47] Forrás: saját szerkesztés
[48] Forrás: saját szerkesztés

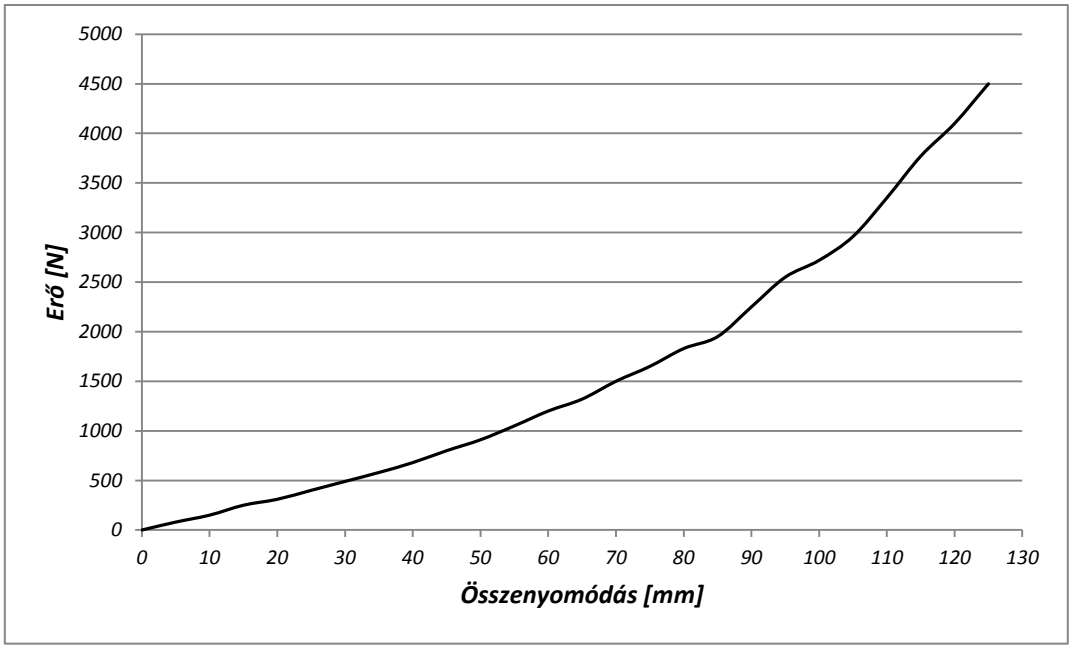
Vizsgálatokat végeztem 1m*1m alapterületen elhelyezett nyitott, tömörítetlen állapotú 42db 1,5L–es és 37db 2L–es PET palackok segítségével (7.14. ábra).

*7.14. ábra: 1,5L és 2L térfogatú nyitott PET palackok tömöríthetőségi vizsgálata*[49]

**Vizsgálat paraméterei:**

- palackhalmaz magassága: ~280mm,
- összenyomás mértéke: 125mm (palackhalmaz magassága 155mm),
- kirugózás mértéke: ~15mm (palackhalmaz magassága 170mm),
- palackok össztömege: 2629g,
- vizsgált kiinduló térfogat:0,28m$^3$,
- tömörített térfogat kirugózás után: 0,17m$^3$,
- tömörítés mértéke:~40%.

[49] Forrás: saját szerkesztés




***7.15. ábra: Több darab 1,5L és 2L térfogatú nyitott PET palack tömörítési vizsgálatának eredménye[50]***

A vizsgálat alapján elmondható, hogy 4500N erőhatás kifejtése után a vizsgált PET palackok ~40%–os maradandó térfogatcsökkenést szenvedtek. A vizsgálatban kb. 3,5 sor (random elhelyezkedés) PET palack volt, így egy sor tömörödése ~35mm–re tehető.

**Zárt PET palack defektálásához szükséges erőhatás számítása:**

A zárt PET palack maximális terhelhetősége 10bár túlnyomásra tehető, ami a palack falán 0,1N/mm$^2$ terhelésnek felel meg. Ahhoz, hogy ezt az értéket elérjük a következő térfogatra (1,5L–es PET esetén) kell tömörítenünk a palackot:

$$p_1 * V_1 = p_2 * V_2$$

$$V_2 = \frac{0{,}1 * 1{,}5 * 10^6}{1{,}1} = 1{,}364 * 10^5 \, mm^3 = \underline{136{,}4 cm^3}$$

térfogatcsökkenés: 90,1%

1,5L–es PET palack felülete, paláston párhozamos tömörítést alkalmazva: A~30000mm$^2$

repesztési nyomás: p=10 bár→1N/mm$^2$

A defektáláshoz szükséges erőhatás:

$$F = p * A = 1 * 30000 = \underline{30000 N}$$

[50] Forrás: saját szerkesztés

Ezt az értéket kell túllépni a tömörítő egységnek zárt PET palackesetében, hogy a palack defektálódjon – feltételezve, hogy a kupak és a palack zárónyaka nem deformálódik, – ezzel biztosítva a maradandó térfogatcsökkenést.

## 7.5. A hulladékgyűjtő jármű tömörítő egységének vizsgálata

Az európai országokban, és hazánkban is jellemző hátsótöltős hulladékgyűjtő jármű telítődés–optimalizálás vizsgálatához a jármű tömörítő egységének paraméterei kerültek megvizsgálásra:

- a hidraulika henger dugattyújának átmérője: D=Ø110mm,
- a rendszer maximális nyomása: p=320bar→32N/mm$^2$,
- a hidraulika henger által kifejtett maximális erőhatás:

$$F = p * A = 32 * (55^2 * \pi) = 32 * 9500 = 304000N$$

- alkalmazott hidraulika hengerek száma: 2db

$$\Sigma F = 2 * 304000 = \underline{608000N}$$

erőt képes a két hidraulika henger kifejteni.

A hidraulika henger által kifejtett erő egyes típusoknál különböző karokon keresztül kerül átadásra a tömörítő egységre. A karok méreteit és a tömörítő felület nagyságát vizsgálva számításokat lehet végezni az adott PET palackok tömörítési képességére vonatkozóan.

## 7.6. A hulladékgyűjtő jármű telítődésének optimalizálása

A fenti fejezetek eredményeit tanulmányozva nagy jelentősége van a PET palack szelektív hulladékgyűjtési kultúrájának. Hazánkban és az EU–ban leginkább elterjedt hulladékgyűjtő jármű kapacitása 22m$^3$–re tehető, így az ilyen térfogatú járműre készültek vizsgálatok.

**Az edény térfogat–tömeg adatát lekérdezve az alábbi megállapítások tehetők:**

Az 1,5m$^3$ űrtartalmú edényben elhelyezett hulladék 20kg mért tömege arra enged következtetni, hogy a PET palackok tömörítési értéke magas volt –a térfogatcsökkenés ~64%–os. Az ilyen nagyságú előtömörített PET palack hulladékgyűjtő járműbe történő továbbtömörítésére nincs vagy csak csekély lehetőség van. A 64%–os térfogatcsökkenés a heterogén PET palackok esetén átlagosan 60mm–es átmérőben történő összenyomással egyenértékű. A 64%–os térfogatcsökkenéskor a hulladékgyűjtő jármű tömörítő egysége

(1,44$m^3$) kb. 815db PET palackot képes befogadni (ld 7.8. táblázat). A 7.12. ábra alapján 60mm–rel történő összenyomás esetén átlagosan 700–750N reakcióerőt fejtenek ki a PET palackok. Ekkora darabszámú tömörített PET palack esetén a továbbtömörítéshez szükséges erőnek kisebbnek kell lennie a hidraulikus hengerek által kifejtett és a különböző karokon a tömörítő felület számára átadott erőnél.

A vizsgálat alapján elmondható hogy:

- 17kg/$m^3$ átlagsűrűségű PET hulladék továbbtömörítésére nagy mennyiségben (1,5$m^3$) nincs lehetőség, és további problémát okozhatnak a zárt PET palackok, ezért célszerű lenne a lakosság figyelmét felhívni a PET palack nyitott állapotban történő bedobására.
- 10kg/$m^3$ átlagsűrűségű PET hulladék továbbtömörítésére még nagy mennyiségben (1,5$m^3$) is lehetőség nyílik.

A hulladékszállító cég által szolgáltatott adatok tanulmányozása alapján a hulladékgyűjtő jármű ürítésekor mért tömörített hulladék tömege leosztásra került a PET palackok gyűjtésére használt 2,5$m^3$–es edények számával. A vizsgálatot 1088db 2,5$m^3$ –es teljesen telített edény bevonásával végeztem.

Az értékek alapján elmondható, hogy átlagosan 40kg (tömörített)/ edény (2,5$m^3$) érték vehető figyelembe. Az átlagsűrűség ez esetben 16kg/$m^3$. Ez az érték összhangban van a 7.8. táblázatban lévő adattal, illetve ebben a fejezetben leírt továbbtömöríthetőségi vizsgálattal.

**A hulladékgyűjtő jármű optimalizálás számításához szükséges adatok:**

- a tömöríthetőségi határon lévő hulladékra jellemző átlagsűrűség értékre (PET, nyitott, homogén, hulladék átlagsűrűség 15–17kg/$m^3$),
- az edény térfogata és a benne lévő hulladék (homogén) tömege (ez alapján kapunk hulladék átlagsűrűségi értéket),
- a jármű hulladékgyűjtő egységének tömörítő paramétereire.

Az adatok felhasználásával prognosztizálhatóvá válik a hulladékgyűjtő járműbe üríthető edények száma, azaz a jármű telítődésének a helye.

**Az optimalizálás számítását befolyásoló tényezők:**

- az adott hulladék homogenitása,
- a gyűjtési kultúra minősége,
- a jármű tömörítő egységére jellemző paraméterek,
- az egy tömörítési ciklus alatt tömörítésre került hulladék térfogata.

A befolyásoló tényezőket figyelembe véve az optimalizálási kérdés nagy bizonytalansággal rendelkezik, így a kalkulált értéket valós körülmények között vizsgálva, mért adatokra támaszkodva korrekciós tényezőkkel szükséges ellátni.

## 7.7. A real–time alapú infokommunikációs szelektív hulladékgyűjtő rendszer járművének kapacitás-kihasználtsági vizsgálata – a fejezet összefoglalása

A fejezetben az alkalmazott PET palackok átfogó vizsgálata került végrehajtásra. A kereskedelmi forgalomban kapható legjellemzőbb palackok fizikai adatai, és a különböző tömörítési módok – kézi, lábbal illetve kézi tömörítő egységgel – során térfogati paraméterek kerültek lemérésre. A kapott paraméterek segítségével a valós palackot helyettesítő egyszerűsített modell került megalkotásra (különböző térfogatú palackokra és különböző tömörítési módokra). Az elkészült modell segítségével szimulálásra került a különböző térfogatú – 1,5$m^3$ és 2,5$m^3$ – edények telítődése. A vizsgálatok fontos eredménye, hogy kézi tömörítés esetén viszonylag nagy térfogatcsökkenést érhetünk el, azonban a PET palack alakja nem optimális, mert csak rövid helyen, átmérőben került lapításra. A vizsgálatok alapján a PET palack formája hulladékelhelyezés szempontjából akkor a legoptimálisabb, ha az átmérőben teljes hosszon lapításra kerül, és nyitott állapotban kerül elhelyezésre.

Az edényben elhelyezett PET palackok térfogata és tömege alapján megkapjuk a hulladék átlagsűrűséget, amelyből következtethetünk, az elhelyezett PET palackok tömörítettségi szintjére. Laboratóriumi mérések és valós adatok felhasználásával meghatározásra került az a hulladék átlagsűrűségi érték (15–17kg/$m^3$), amelyet a jármű tömörítő egysége nagy mennyiségben már nem képes továbbtömöríteni.

A fejezetben leírtak alapján a következő tézis került megfogalmazásra, Titrik [69,70]:

***2. TÉZIS: Új összetett mérési módszer megalkotása, majd alkalmazása segítségével a járműkapacitás-kihasználtságot maximalizáltam a bejárási útvonalhossz optimalizálása mellett [69, 70].***

A kutatás kiterjedt a szelektív hulladékgyűjtő edénybe elhelyezett hulladék térfogat és továbbtömöríthetőség analizálására. A vizsgálat kiterjedt arra, hogy a felhasználó által különböző módon előtömörített csomagolóanyag milyen mértékben tömöríthető tovább. A továbbtömöríthetőségi érték nagy jelentőséggel bír a szelektív hulladékgyűjtő jármű telítődésének időpontjára.

*2.1. Definiáltam és megalkottam egy összetett mérési rendszert, amely képes az edénybe bedobott hulladék pontos tömöríthetőségét ismertetni a járattervező központtal.*

*2.2. Az új mérési rendszer alkalmazásával nagy pontossággal meghatározható az edénybe elhelyezett hulladék térfogata és tömege. Ennek alapján lehet következtetni a továbbtömöríthetőségről, így prognosztizálni lehet a hulladékgyűjtő jármű telítődésének időpontját.*

*2.3. A járműkapacitás-kihasználtság folyamatos monitoringozása során a tervezett edényfelvételeket követően szabad hely esetén további edények felvételére kerül sor az optimális kiválasztást szem előtt tartva.*

# 8. Real–time alapú infokommunikációt alkalmazó szelektív hulladékgyűjtés logisztikájának tervezése

## 8.1. Matematikai alapok

Hirkó Bálint [87, 88] publikációiban az optimalizálás, költségcsökkentés a fő célpont. A szerző megemlíti, hogy megfelelő szoftver alkalmazása nélkül nehéz a feladat elvégzése, azonban a műveiben bemutatja a főbb adatok (DEPÓ–k száma, peremfeltételek, stb.) számítógép támogatása nélküli meghatározását.

A számítás feltételei:

- minden rakodóhelyen egy edény van,
- az edények telítődése folyamatos és lineáris a munkanap folyamán, a fajlagos telítődési sebesség $q_W^0$ tonna vagy $m^3$/óra. A munkaidő után már mindegy, hogy miként töltődik, de ennek sebessége ( $q_E^0$ ) az előzőnél kisebb. Az edény a munkaidő $t_W$ órája alatt $\beta_W$ arányban ( $\beta_W \leq 1$ ) töltődik fel, azaz

$$q_W^0 = \frac{\beta_W \cdot q}{t_W}$$

ahol: $q_w$ – fajlagos telítődési sebesség
$\beta_w$ – töltöttségi arány
$t_w$ – munkaidő órája
q – mennyiség

**Napi járatszám, darab**

$$J \approx \frac{Q}{G \cdot \delta}$$

ahol: Q – a naponta elszállítandó hulladékmennyiség, tonna,
G – az alkalmazott gyűjtőjármű kapacitása, tonna,
δ – a jármű tervezett kihasználása ( $0{,}9 \leq \delta \leq 1$ ).

**Átlagos edényterhelés, tonna**

$$\overline{q_x} \approx (1 - \frac{\beta^2}{2 \cdot X}) \cdot q$$

ahol: X jelentése, hogy a napi munkaidőt hány egyenlő időintervallumra (időablakra) osztjuk.

Az időablak végén az edény tele van (töltési foka, $\alpha_X^{MAX} = 1$), az elején pedig a telítettsége $\alpha_X^{MIN} = (1 - \frac{\beta_W}{X})$ lesz. Lineáris feltöltődési ütemet tekintve az átlagos telítettség tehát

$$\overline{q_x} = 1 - \frac{\beta_W}{2X}$$

lesz, ahol $\beta_W$ a munkaidő alatti telítődési sebességet (tonna/óra, vagy $m^3$/óra) adja, feltételezve, hogy a munkaidő után és éjjel az edény töltődési sebessége kisebb ($\beta_E \leq \beta_W$)

**Egy járat becsült átlagos hossza, km**

$$F_j = k_1 \cdot \sqrt{T} + k_2 \cdot (\frac{\delta \cdot G}{\overline{q_X}} - 1) \cdot \sqrt{\frac{T \cdot \overline{q_X}}{Q}}$$

ahol: $k_1$ – ki és beállási tényező,

$k_2$ – átállási tényező,

**Egy járat becsült átlagos ideje, óra**

$$T_j = \frac{F_j}{v} + \frac{\delta \cdot G}{\overline{q_X}} \cdot t_R$$

ahol: v – átlagsebesség,

$t_R$ – egy edény rakodási ideje, óra/db

**A becsült összes futáshossz, km**

$$\sum_{j=1}^{J} F_j = \left[ k_1 \cdot \sqrt{T} + k_2 \cdot (\frac{\delta \cdot G}{\overline{q_X}} - 1) \cdot \sqrt{\frac{T \cdot \overline{q_X}}{Q}} \right] \cdot J$$

ahol: J – járatszám,

Természetesen $k_1 \approx k_2$, javasolt érték 0,75….0,9 között.

**Magyarázat**

$$F_{osztott} \approx \left[ 0{,}75 \cdot \sqrt{T} + 0{,}75 \cdot (\frac{G \cdot \alpha_B}{q} - 1) \cdot \sqrt{\frac{T}{N_X}} \right] \cdot \frac{N \cdot q}{G \cdot \alpha_B}$$

ahol: Q – a napi elszállítandó hulladék

$\alpha_B$ – a jármű tervezett kihasználtsága, figyelembe véve a hulladék típusát

Nx–becslése a következőképp történt:

$$(1 - \beta_W) \cdot N_X \cdot q + \beta_W \cdot N_X \cdot q \cdot (1 - \frac{\beta_W}{2X}) = Q,$$

másképpen az éjszaka ***teljesen*** megrakott, valamint a napközben ***átlagtelítettségre*** ($\overline{q_x}$) megrakott edények összes tömege egyenlő az elszállítandó napi mennyiséggel. Innen

$$N_x = \frac{Q}{q \cdot \left( 1 - \frac{\beta_W^2}{2X} \right)}$$

ahol: $N_x$ – meglátogatásra kerülő edények

és az egész napra számított átlagterhelés

$$\overline{q_X} = q \cdot \left( 1 - \frac{\beta_W^2}{2X} \right).$$

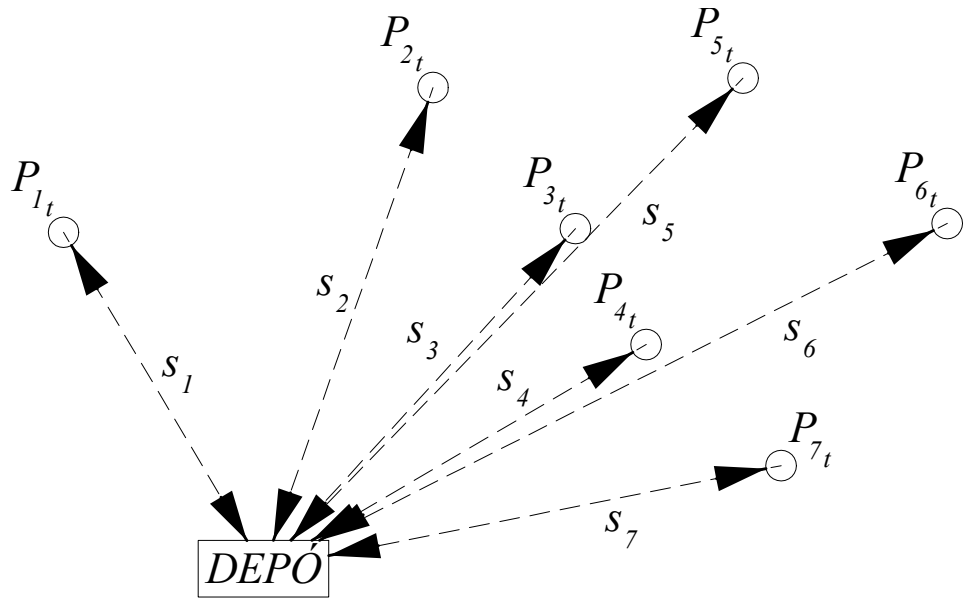
## 8.2. A real–time alapú infokommunikációs hulladékgyűjtés optimalizálásának folyamata

A szelektív hulladékgyűjtés real–time alapon kommunikáló egységeinek köszönhetően a hulladékgyűjtés inverz logisztikai folyamata egy magasabb szintet ér el. Megfelelő számú edények telítettségi szintje elérte az ürítésre indokolt szintet, így szükséges a begyűjtési útvonaltervezés, melyre a következő variációk definiálhatók:

**1. begyűjtési lehetőség tervezési folyamata:**

Figyelembe vett szempont: az edény ürítési rendjének optimalizálása.

A gyűjtőjárat alapadatai: a telített edényekhez nincs járatkapcsolás, az edényeket céljáratokkal kell begyűjteni. Csak telített edények kerülnek ürítésre (8.1. ábra).




***8.1. ábra: Céljárat alkalmazása a begyűjtésre*[51]**

ahol, $P_{it}$–telített edények

**A gyűjtésre jellemző:**

$$Q_j >> \sum_{i=1}^{n=7} Q_{Pi} ,$$

ahol, $Q_j$ a jármű kapacitása és $Q_{Pi}$ az edények kapacitása,

$$2 * \sum_{i=1}^{n} s_i >> s_1 + s_n + \sum_{i=1}^{n=6} s_{i;i+1} ,$$

ahol, $s_i$ az egyes edények és a DEPÓ között lévő út.

**Az 1. begyűjtési lehetőség elemzése:**

A begyűjtésre jellemző, hogy a legegyszerűbb begyűjtési mód a logisztikában – az egyes célhelyeket egyenként keresi fel a jármű, és a benne lévő anyagot pedig egyenként szállítja a DEPÓ-ba. Hulladékgyűjtés területén ez a módszer a pótkocsi nélküli 3–21$m^3$–es konténer szállítás esetén érvényes. Erre a legegyszerűbb begyűjtési módra is jellemző, hogy a pontok elérésének útvonala megfelelő tervezés hiányában nem kerül optimalizálásra. A kihelyezett edények térfogata – általában 1,5$m^3$ vagy 2,5$m^3$–es – és darabszáma – egy anyagfajta gyűjtésére 1 illetve 2 edény jellemző – alapján az általános szelektív hulladékgyűjtésre használt jármű nagy kapacitása miatt az edények ürítése elvégezhető. Ilyen gyűjtés

[51] Forrás: saját szerkesztés

alkalmazásakor a jármű nem telítődik, így annak kapacitás-kihasználtsága jelentősen alacsonyabb az optimálisnál.

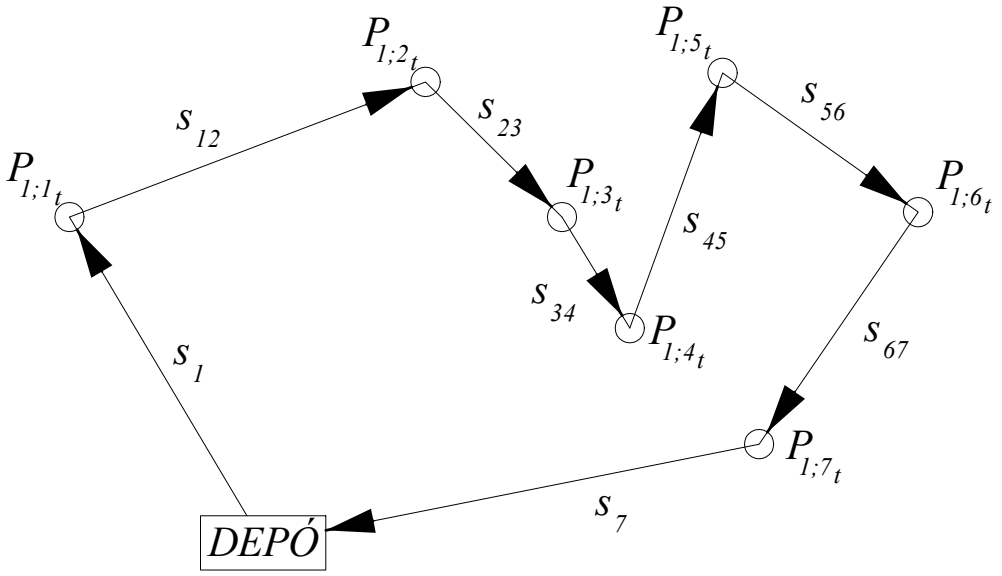
**A begyűjtési módra az alábbiak jellemzők:**

- legegyszerűbb begyűjtési mód,
- az edény ürítése elvégezhető a hulladék térfogata és az ismert jármű kapacitása miatt,
- az edény ürítési rendje optimalizált,
- az útvonal nem optimalizált,
- a begyűjtési mód nem optimalizált,
- a jármű kapacitás-kihasználtsága nem optimalizált,
- az edényekhez az elérési útvonal nem optimalizált.

**2. begyűjtési lehetőség tervezési folyamata:**

Figyelembe vett szempont: az edények elérési útvonalának optimalizálása.

A gyűjtőjárat alapadatai: a telített edények eléréséhez savings módszert alkalmazunk. Csak telített edények kerülnek ürítésre (8.2. ábra).




***8.2. ábra: Savings módszer alkalmazása a begyűjtésre*[52]**

ahol, $P_{1;it}$–telített edények, amelyek az 1–es járattal kerülnek begyűjtésre, $s_i$ az DEPÓ és edény ill. edény DEPÓ közötti távolság, $s_{ii+1}$ az edények közötti távolság

[52] Forrás: saját szerkesztés

A begyűjtés folyamatára érvényes kell, hogy legyen az alábbi:

$$Q_j \geq \sum_{i=1}^{n=7} Q_{Pi} ,$$

ahol, $Q_j$ a jármű kapacitása és $Q_{Pi}$ az edények kapacitása

**A 2. begyűjtési lehetőség elemzése:**

Az 1. begyűjtési lehetőség továbbfejlesztése történt ez esetben. A különböző telített edényekhez az elérési útvonal optimalizálásra került. A begyűjtésnél a savings módszer került használatra, melynek során, az edények egymás után kerülnek begyűjtésre, és csak a begyűjtési körút végén tér vissza a jármű a DEPÓ-ba. Jelen esetben a begyűjtési mód nem optimalizált, hiszen a jármű telítődése nem került figyelembe vételre, nem lehet tudni, hogy ezen edények begyűjtése során a jármű még rendelkezik-e szabad kapacitással, vagy pedig túltelítődne, amely következtében a maradék edények ürítéséért újra el kellene jutni. A jármű kapacitás-kihasználtsága alapján további optimalizációra van szükség.

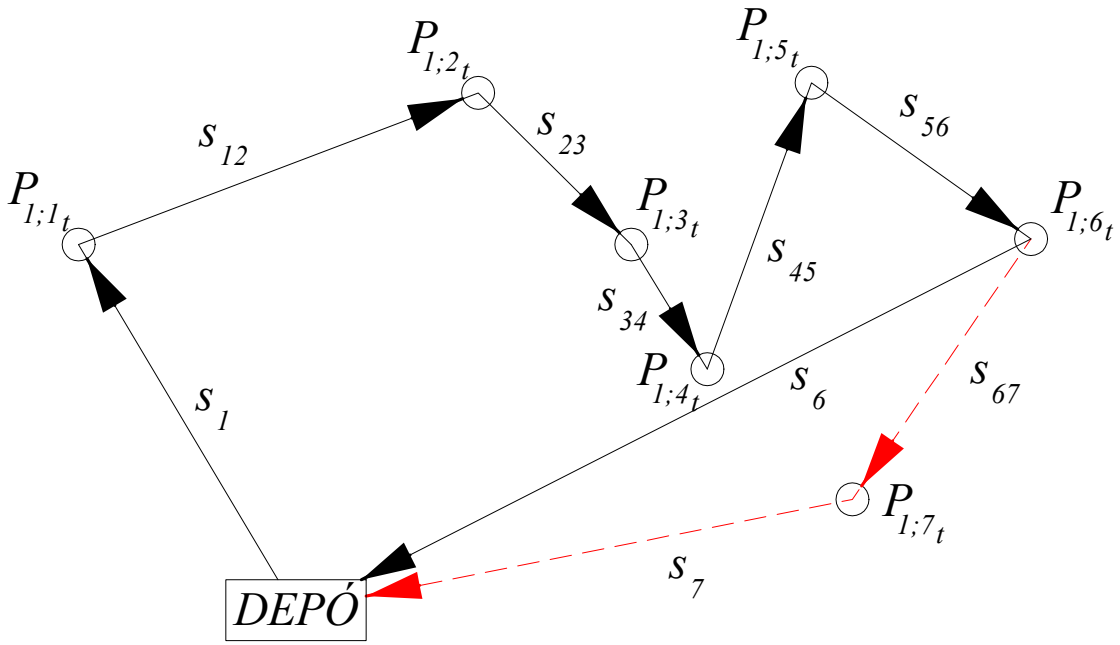
**A begyűjtési módra az alábbiak jellemzők:**

- optimalizált útvonal,
- az edény ürítése bizonytalan a hulladék tömöríthetőségi illetve továbbtömöríthetőségi szintje miatt – térfogat–tömeg arány,
- az edény ürítési rendje optimalizált,
- az edényekhez az elérési útvonal optimalizált,
- a begyűjtési mód nem optimalizált,
- a jármű kapacitás-kihasználtsága nem optimalizált.

**3. begyűjtési lehetőség tervezési folyamata:**

Figyelembe vett szempont: a jármű kapacitásának vizsgálata.

A gyűjtőjárat alapadatai: a telített edények eléréséhez savings módszert alkalmazunk. Csak telített edények kerülnek ürítésre. A jármű telítődését szem előtt tartjuk (8.3. ábra).




***8.3. ábra: Jármű telítődésének figyelembe vétele[53]***

$$Q_j < \sum_{i=1}^{n=7} Q_{Pi} \ ,$$

ahol, $Q_j$ a jármű kapacitása és $Q_{Pi}$ az edények kapacitása,

**A begyűjtésre az alábbiak jellemzők:**

$$s_{össz} = (s_1 + s_6 + \left( \sum_{i=1}^{n=5} s_{i;i+1} \right)) + 2 * s_7 ,$$

$$Q_1 >> Q_2 \text{ és } Q_1 \cong Q_j \text{ és } Q_2 << Q_j ,$$

ahol, $Q_j$ a jármű kapacitása, $Q_i$ a begyűjtési körök kapacitása.

**A 3. begyűjtési lehetőség elemzése:**

Az előző begyűjtési lehetőség további vizsgálata, ahol a jármű kapacitását figyelembe vesszük. Ebben a begyűjtési lehetőségben meghatározásra kerülnek a járműbe üríthető edények és a hozzájuk elvezető optimalizált útvonal.

**A begyűjtési módra az alábbiak jellemzők:**

- optimalizált útvonal,
- az edény ürítése elvégezhető a hulladék ismert térfogat–tömeg aránya miatt,
- az edény ürítési rendje optimalizált,

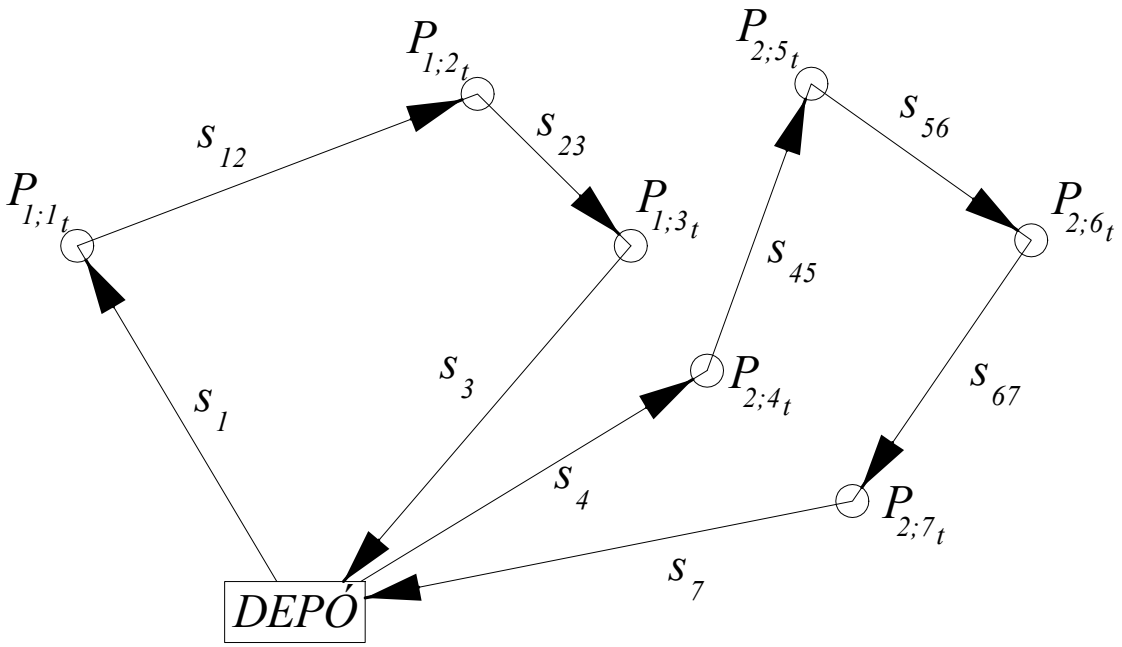
[53] Forrás: saját szerkesztés

- a begyűjtési mód nem optimalizált,
- a jármű kapacitás-kihasználtsága nem optimalizált,
- az edényekhez az elérési útvonal optimalizált.

**4. begyűjtési lehetőség tervezési folyamata:**

Figyelembe vett szempont: útvonal újradefiniálás a jármű kapacitása miatt.

A gyűjtőjárat alapadatai: a telített edények eléréséhez savings módszert alkalmazunk. Csak telített edények kerülnek ürítésre. A jármű telítődését szem előtt tartjuk. A begyűjtési módot optimalizáljuk (8.4. ábra).




***8.4. ábra: Útvonal–optimalizálás a jármű kapacitás figyelembe vételével*[54]**

ahol, $P_{1;it}$–telített edények, amelyek az 1–es járattal kerülnek begyűjtésre, $P_{2;it}$–telített edények, amelyek a 2–es járattal/körben kerülnek begyűjtésre, $s_i$ az DEPÓ és edény ill. edény DEPÓ közötti távolság, $s_{ii+1}$ az edények közötti távolság

**A begyűjtésre az alábbiak jellemzők:**

$$Q_{ji} >> Q_i ,$$

ahol, $Q_j$ a jármű kapacitása és $Q_i$ az egy begyűjtési körben lévő edények.

[54] Forrás: saját szerkesztés

$$S_1 = (s_1 + s_3 + \left( \sum_{i=1}^{n=2} s_{i;i+1} \right)),$$

$$S_2 = (s_4 + s_7 + \left( \sum_{i=4}^{n=6} s_{i;i+1} \right))$$

,

$$S_{össz} = S_1 + S_2$$

$$Q_1 \cong Q_2 \text{ és } Q_1 << Q_j \text{ és } Q_2 << Q_j$$

ahol, $Q_j$ a jármű kapacitása és $Q_i$ a begyűjtési körök kapacitása.

**A 4. begyűjtési lehetőség elemzése:**

A jármű kapacitását figyelembe véve – az előző esetben a hulladékgyűjtő jármű túltelítődése miatt – a bejárási útvonal két részre lett osztva. Az útvonalakon az edények begyűjtése biztonságosan elvégezhető. Ebben az esetben azonban a jármű kapacitás-kihasználtsága nem kerül optimalizálásra, ezért további feladat elvégzése szükséges – további edények felvétele az ürítési folyamatba.

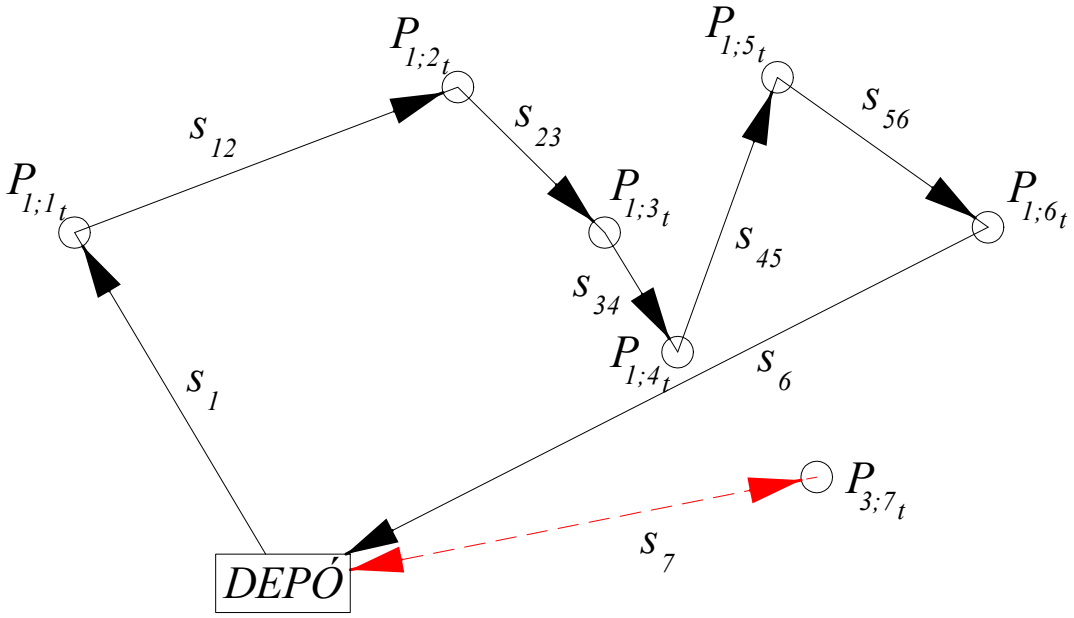
**A begyűjtési módra az alábbiak jellemzők:**

- optimalizált útvonal,
- az edény ürítése elvégezhető a hulladék ismert térfogat–tömeg aránya miatt,
- az edény ürítési rendje optimalizált,
- az edényekhez az elérési útvonal optimalizált,
- a begyűjtési mód nem optimalizált,
- a jármű kapacitás-kihasználtsága nem optimalizált.

**4/1. begyűjtési lehetőség tervezési folyamata:**

Figyelembe vett szempont: útvonal újradefiniálás a jármű kapacitás-kihasználtsága céljából.

A gyűjtőjárat alapadatai: a telített edények eléréséhez savings módszert alkalmazunk. Csak telített edények kerülnek ürítésre. A jármű telítődését szem előtt tartjuk. A begyűjtési módot optimalizáljuk (8.5. ábra). A jármű telítődése miatt az ürítésre nem kerülő edények speciális kis kapacitású járművel, céljárattal kerülnek ürítésre.




***8.5. ábra: Útvonal–optimalizálás a járműkapacitás figyelembe vételével*[55]**

$$Q_j \geq \sum_{i=1}^{n=6} Q_{Pi} ,$$

ahol, $Q_j$ a jármű kapacitása és $Q_{Pi}$ az edények kapacitása,

**A begyűjtésre az alábbiak jellemzők:**

$$S_1 = s_1 + s_6 + \left( \sum_{i=1}^{n=5} s_{i;i+1} \right),$$

$$S_2 = 2 * s_7,$$

$$S_{össz} = S_1 + S_2$$

$$s_7 \leq s_{ii+1},$$

$$Q_1 >> q_7 \text{ és } Q_1 \cong Q_{j1} \text{ és } q_7 \cong Q_{j3},$$

ahol $Q_j$ a jármű kapacitása, $Q_i$ a begyűjtési körök kapacitása, $q_i$ az edények kapacitása,

ahol, $P_{1;it}$–telített edények, amelyek az 1–es járattal kerülnek begyűjtésre, $P_{3;it}$–telített edények, amelyek a 3–as járattal/körben kerülnek begyűjtésre, $s_i$ a DEPÓés edény ill. edény- DEPÓ közötti távolság, $s_{ii+1}$ az edények közötti távolság

[55] Forrás: saját szerkesztés

**A 4/1. begyűjtési lehetőség elemzése:**

A jármű kapacitását figyelembe véve a bejárási útvonal két részre lett osztva. Az útvonalakon az edények begyűjtése biztonságosan elvégezhető. A járművek kapacitás-kihasználtsága az első begyűjtési körben optimalizálásra került. A második begyűjtési körben az edény vagy kevesebb számú edény begyűjtése céljárattal kerül begyűjtésre. A hulladékgyűjtést a második körben kisebb kapacitású hulladékgyűjtő járművel célszerű végrehajtani.

Fontos szem előtt tartani, – a megtett út optimalizálása miatt – hogy a DEPÓ–hoz legközelebb, illetve a legegyszerűbben elérhető edények kerüljenek céljárattal begyűjtésre.

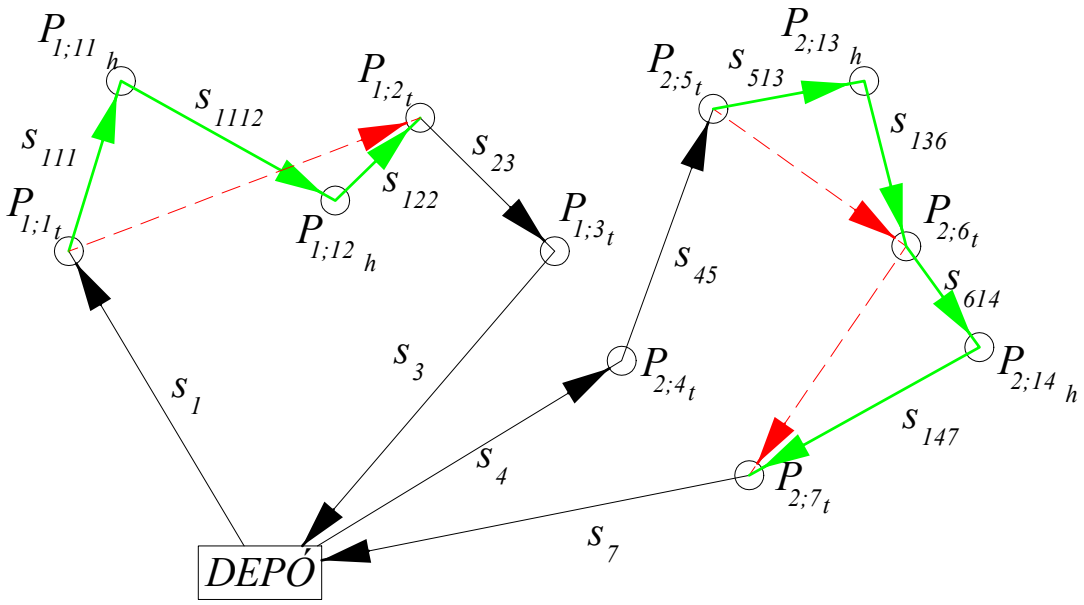
**A begyűjtési módra az alábbiak jellemzők:**

- optimalizált útvonal,
- az edény ürítése elvégezhető a hulladék ismert térfogat–tömeg aránya miatt,
- az edény ürítési rendje optimalizált,
- az edényekhez az elérési útvonal optimalizált,
- a begyűjtési mód optimalizált,
- a jármű kapacitás-kihasználtsága optimalizált.

**5. begyűjtési lehetőség tervezési folyamata:**

Figyelembe vett szempont: optimalizáljuk a jármű telítettségét.

A gyűjtőjárat alapadatai: a telített edények eléréséhez savings módszert alkalmazunk. A telített edények mellett további nem telített edények kerülnek begyűjtésre. A jármű telítődését szem előtt tartjuk. A begyűjtési módot optimalizáljuk (8.6. ábra).




***8.6. ábra: További edények felvétele a begyűjtéshez a járműtelítődés–optimalizálása céljából*[56]**

ahol, $P_{i;ih}$–hamarosan telítődő edények, $s_i$ a DEPÓ és edény ill. edény DEPÓ közötti távolság, $s_{ii+1}$ az edények közötti távolság

**A begyűjtésre az alábbiak jellemzők:**

$$Q_{ji} \geq Q_i ,$$

ahol, $Q_j$ a jármű kapacitása és $Q_i$ az egy begyűjtési körben lévő edények

**Az 5. begyűjtési lehetőség elemzése:**

Az 5. begyűjtési lehetőség a jármű kapacitás-kihasználtsága miatt került definiálásra. A telített edények mellé további közelben lévő edények ürítése is bekerül az ürítési rendbe. Fontos szempont, hogy a több választható edény közül az optimálisan elérhetők kerüljenek ürítésre. Ezzel a módszerrel a jármű kapacitás-kihasználtsága növelésre kerül.

[56] Forrás: saját szerkesztés

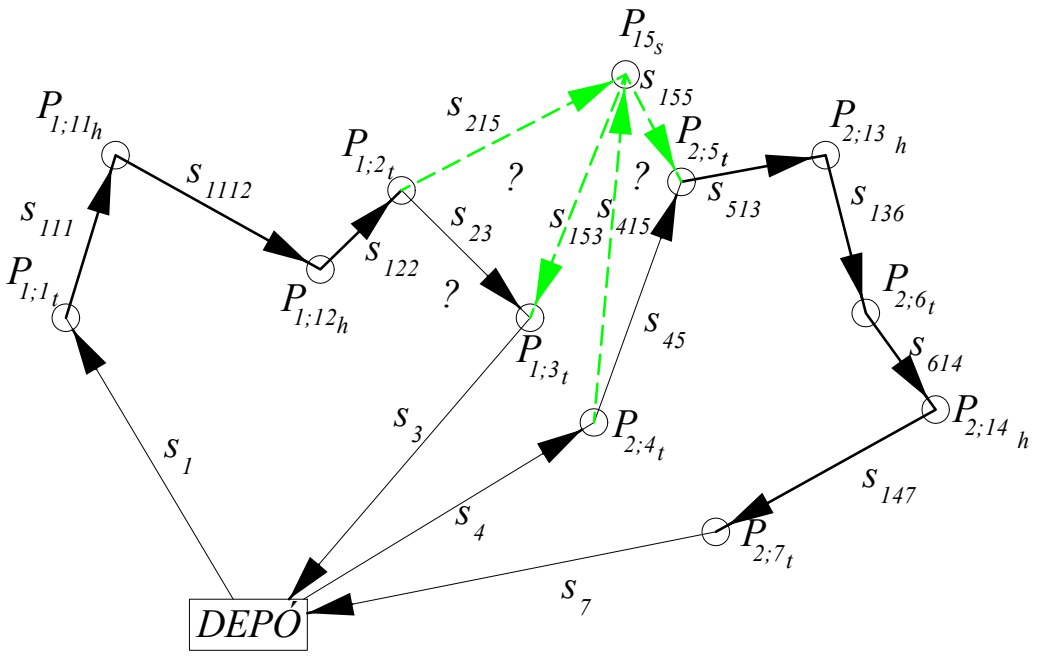
**A begyűjtési módra az alábbiak jellemzők:**

- optimalizált útvonal,
- az edény ürítése elvégezhető a hulladék ismert térfogat–tömeg aránya miatt,
- az edény ürítési rendje optimalizált,
- a begyűjtési mód optimalizált,
- a jármű kapacitás-kihasználtsága optimalizált,
- az edényekhez az elérési útvonal optimalizált.

**6. begyűjtési lehetőség tervezési folyamata:**

Figyelembe vett szempont: telítődési trend figyelembe vétele miatt a nem telített, de a hamarosan várható telítődésű edények bekerülnek az ürítési tervbe.

A gyűjtőjárat alapadatai: a telített edények eléréséhez savings módszert alkalmazunk. A telített edények mellett további nem telített edények kerülnek begyűjtésre. A begyűjtési útvonalba beleveszünk olyan edényeket, amelyek ürítése még nem indokolt, azonban telítődésük a trend alapján hamarosan várható. A jármű telítődését szem előtt tartjuk. A begyűjtési módot optimalizáljuk (8.7. ábra).




***8.7. ábra: További varható telítődésű edények felvétele a begyűjtéshez*[57]**

[57] Forrás: saját szerkesztés

ahol, $P_{i;is}$–a statisztikai adatok alapján hamarosan várható telítődésű edények, $s_i$ a DEPÓ és edény ill. edény DEPÓ közötti távolság, $s_{ii+1}$ az edények közötti távolság

**A begyűjtésre az alábbiak jellemzők:**

$$Q_{ji} \geq Q_i ,$$

ahol, $Q_j$ a jármű kapacitása és $Q_i$ az egy begyűjtési körben lévő edények

$$\min\left(\left(s_{215} + s_{153}\right) - s_{23}; \left(s_{415} + s_{155}\right) - s_{45}\right),$$

**A 6. begyűjtési lehetőség elemzése:**

A 6. begyűjtési lehetőségnél a bejárandó útvonal mentén olyan további edények kerülnek begyűjtésre, amelyek még nem telítettek azonban a telítődési trendjüket figyelembe véve telítődésük hamarosan várható. Fontos szempont, hogy a nem telített edények és a várható telítődésű edények közül a legközelebbiek, a legkönnyebben elérhetők, ill. a legindokoltabbak kerüljenek ürítésre.

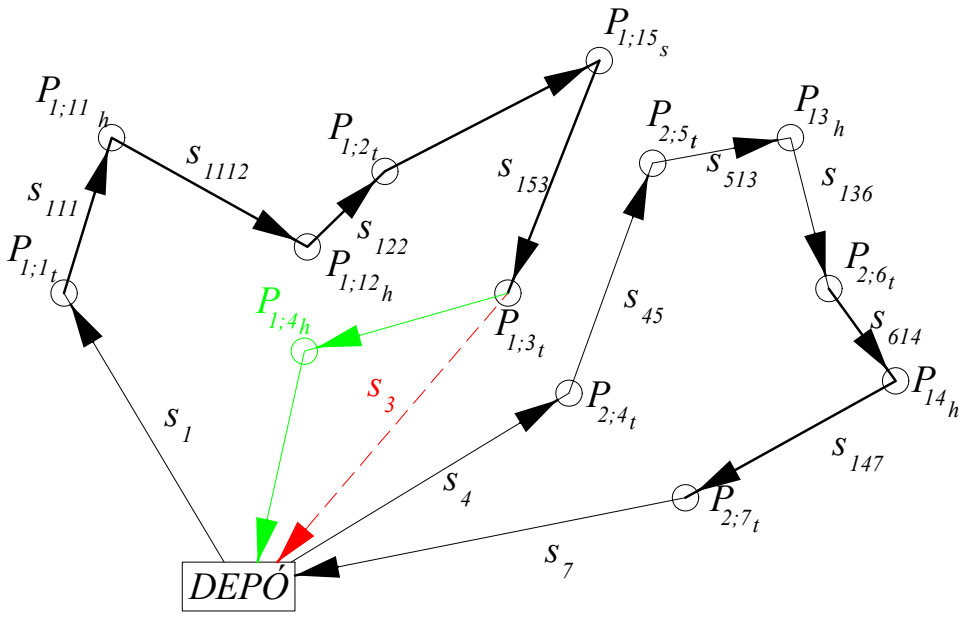
**A begyűjtési módra az alábbiak jellemzők:**

- optimalizált útvonal,
- az edény ürítése elvégezhető a hulladék ismert térfogat–tömeg aránya miatt,
- az edény ürítési rendje optimalizált,
- a begyűjtési mód optimalizált,
- a jármű kapacitás-kihasználtsága optimalizált,
- az edényekhez az elérési útvonal optimalizált.

**7. begyűjtési lehetőség tervezési folyamata:**

Figyelembe vett szempont: az elkészült útvonalterv a begyűjtés folyamata alatt újradefiniálásra kerül a jármű kapacitás-kihasználtság maximalizálása érdekében.

A gyűjtőjárat alapadatai: a telített edények eléréséhez savings módszert alkalmazunk. A telített edények mellett további nem telített edények kerülnek begyűjtésre. A begyűjtési útvonal bejárása során a jármű kapacitás-kihasználtsága nem került maximalizálásra, ezért a DEPÓ–ba történő visszatéréskor további – közelben lévő – edény kerül ürítésre (8.8. ábra).




***8.8. ábra: Begyűjtés során további telített edény felvétele*[58]**

ahol, $P_{1;4h}$–a begyűjtési útvonalat végigjárva a járműben maradt szabad kapacitás miatt felvételre kerülő edény

**A 7. begyűjtési lehetőség elemzése:**

A 7. begyűjtési lehetőségnél az előre definiált útvonal kerül bejárásra. A hulladékgyűjtés során a bejárt útvonal mentén az előzetes ürítési tervben szereplő edényeken kívül további edény ürítése nem történik meg, így a jármű kapacitás-kihasználtsága az előre tervezett alapján történik. A folyamatos járműtelítettség vizsgálat alapján azonban a DEPÓ–ba való visszatérés előtt a hulladékgyűjtő járművön még rendelkezésre áll kapacitás, így lehetőség nyílik további edények ürítésére. A megfelelő edény kiválasztása is optimalizálva történik.

[58] Forrás: saját szerkesztés

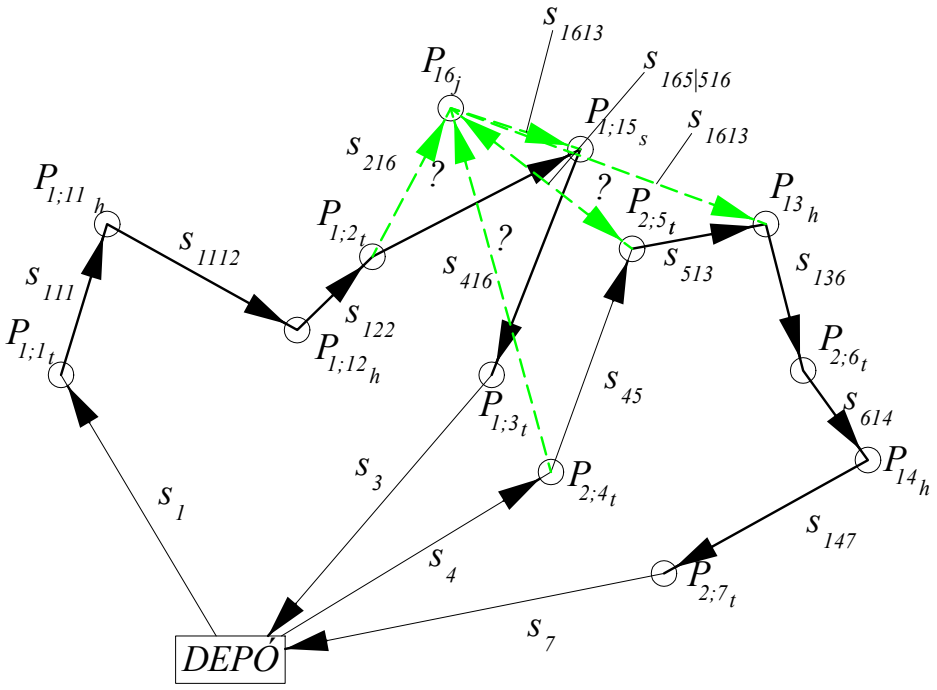
**A begyűjtési módra az alábbiak jellemzők:**

- optimalizált útvonal,
- az edény ürítése elvégezhető a hulladék ismert térfogat–tömeg aránya miatt,
- az edény ürítési rendje optimalizált,
- a begyűjtési mód optimalizált,
- a jármű kapacitás-kihasználtsága optimalizált,
- az edényekhez az elérési útvonal optimalizált.

**8. begyűjtési lehetőség tervezési folyamata:**

Figyelembe vett szempont: az elkészült útvonalterv a begyűjtés folyamata alatt újradefiniálásra kerül, a közelben éppen telítődött edények ürítése céljából.

A gyűjtőjárat alapadatai: a telített edények eléréséhez savings módszert alkalmazunk. A telített edények mellett további nem telített edények kerülnek begyűjtésre. A begyűjtési útvonalba beleveszünk olyan edényeket, amelyek ürítése még nem indokolt, azonban telítődésük a trend alapján hamarosan várható. A hulladékgyűjtő jármű bejárás folyamata alatt a közelben lévő éppen telítődött edény ürítését számításba vesszük. A jármű telítődését szem előtt tartjuk. A begyűjtési módot optimalizáljuk (8.9. ábra).




***8.9. ábra: Begyűjtés során további telített edény felvétele*** [59]

[59] Forrás: saját szerkesztés

ahol, $P_{i;ij}$–a begyűjtés folyamata alatt éppen telítődött edények

**A begyűjtésre az alábbiak jellemzők:**

$$Q_j \geq \min\left(\sum_{i=1}^{n=3} Q_{Pi} + \sum_{i=11}^{n=12} Q_{Pi} + P_{15} + P_{16_j}; \sum_{i=4}^{n=7} Q_{Pi} + \sum_{i=13}^{n=14} Q_{Pi} + P_{16_j}\right)$$

ahol, $Q_j$ a jármű kapacitása és $Q_i$ az egy begyűjtési körben lévő edények

$$s_{216} + s_{1613} \leq 2 * s_{DEPÓ \rightarrow P_{16j}},$$

$$s_{416} + s_{165} \leq 2 * s_{DEPÓ \rightarrow P_{16j}}$$

ahol, „s” a megtett út az edény eléréséig többi edénytől. illetve a DEPÓ–tól

**A 8. begyűjtési lehetőség elemzése:**

A 8. begyűjtési lehetőségnél az előre definiált útvonal újradefiniálásra kerül, mert a bejárási útvonal közelében a begyűjtés során további edény került telítődésre. Ez esetben indokolt a jármű kapacitásának vizsgálata, illetve az, hogy a telített edény melyik bejárási körben kerüljön ürítésre. A jármű kapacitásproblémája miatt a prioritást figyelembe véve mindenképp a telített edény kerül előtérbe a nem telített edénnyel szemben. Fontos kiemelni az útvonal hosszának vizsgálatát, hiszen a módosított útvonal nem lehet hosszabb, mint a telítődött edény és a DEPÓ között lévő 2–szeres úthossz.

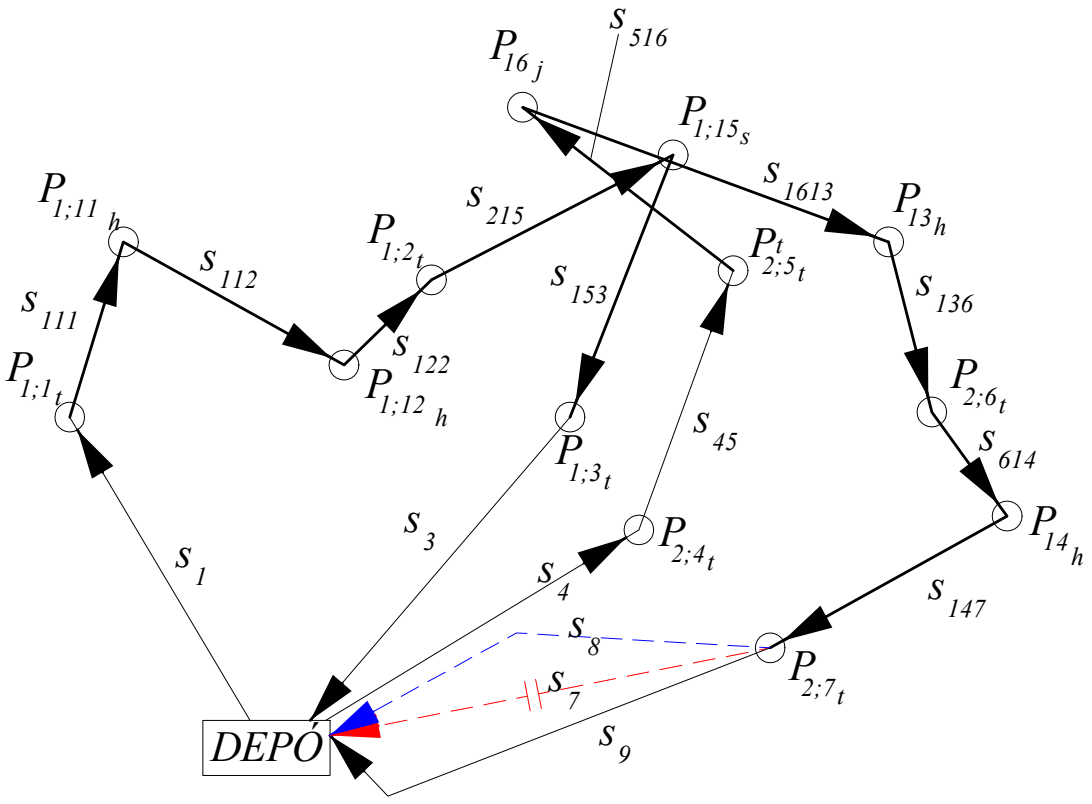
**A begyűjtési módra az alábbiak jellemzők:**

- optimalizált útvonal,
- az edény ürítése elvégezhető a hulladék ismert térfogat–tömeg aránya miatt, a további just–in–time jelzés alapján bekerült edény miatt a járműkapacitás lekérdezése szükséges,
- az edény ürítési rendje optimalizált,
- a begyűjtési mód optimalizált,
- a jármű kapacitás-kihasználtsága optimalizált,
- az edényekhez az elérési útvonal optimalizált.

**9. begyűjtési lehetőség tervezési folyamata:**

Figyelembe vett szempont: más szolgáltatókkal – közútkezelő, közterület–fenntartó – történő kommunikálás során az útvonalterv újradefiniálásra kerül.

A gyűjtőjárat alapadatai: a telített edények eléréséhez savings módszert alkalmazunk. A telített edények mellett további nem telített edények kerülnek begyűjtésre. A begyűjtési útvonalba beleveszünk olyan edényeket, amelyek ürítése még nem indokol, azonban telítődésük a trend alapján hamarosan várható. A jármű telítődését szem előtt tartjuk. A begyűjtési módot optimalizáljuk. A definiálásra került útvonal validálásra/újradefiniálásra kerül az esetleges útburkolat karbantartása – javítása miatt (8.10. ábra).




***8.10. ábra: Útvonal–optimalizálás más szolgáltatók által közölt adatok figyelembe vételével[60]***

**A begyűjtésre az alábbiak jellemzők:**

$$s_8 \geq s_9$$

[60] Forrás: saját szerkesztés

**A 9. begyűjtési lehetőség elemzése:**

A 9. begyűjtési lehetőségnél a definiált útvonal bejárhatósága kerül ellenőrzésre. Jellemző eset, hogy egyes útszakaszok kerülnek lezárásra, ideiglenesen egyirányúsításra az útburkolat karbantartás – javítás vagy más szolgáltató általi közműjavítás során. Az ilyen jellegű beavatkozások on–line rendszerben további közszolgáltatók bevonásával detektálhatók a hulladékgyűjtés területén. Ezt a beavatkozást az optimalizáló szoftver, mint INPUT adatot figyelembe veszi, és egy újabb elérési útvonal keresését hajtja végre.

Fontos kérdés a közterületfenntartó együttműködési hajlandósága – az egyes útvonalakon történő beavatkozások adatszolgáltatásával kapcsolatosan.

**A begyűjtési módra az alábbiak jellemzők:**

- optimalizált útvonal,
- az edény ürítése elvégezhető a hulladék ismert térfogat–tömeg aránya miatt, a további just–in–time jelzés alapján bekerült edény során járműkapacitás lekérdezése szükséges,
- az edény ürítési rendje optimalizált,
- a begyűjtési mód optimalizált,
- a jármű kapacitás-kihasználtsága optimalizált,
- az edényekhez az elérési útvonal optimalizált.

A rendszer alkalmazása során az egyes módok egymásra épülése, illetve kiegészítését követően egy egyszerű logisztikai feladat egy magas szintű begyűjtési folyamattá fejlődik. Az optimalizáláshoz igénybe vett különböző szempontok, mint statisztikai adatok, további szolgáltatók csatlakozása a rendszerhez, a jármű kapacitás-kihasználtság vizsgálata és további eszközök nem csak egy területen hajtanak végre optimalizálást, hanem az egész szelektív hulladékgyűjtés folyamatában. A 8.1. táblázat a figyelembe vett szempontokat/feladatokat/célokat, a 8.2. táblázat pedig az egyes begyűjtési módok előnyeit foglalja össze.

| | ***Figyelembe vett szempontok/feladatok/célok*** |
|---|---|
| ***1. mód a begyűjtésre*** | *az edény ürítési rendjének optimalizálása* |
| ***2. mód a begyűjtésre*** | *az edények elérési útvonalának optimalizálása* |
| ***3. mód a begyűjtésre*** | *a jármű kapacitásának figyelembe vétele* |
| ***4. mód a begyűjtésre*** | *útvonal újradefiniálás a jármű kapacitása miatt* |
| ***4.1. mód a begyűjtésre*** | *útvonal újradefiniálás a jármű kapacitása miatt* |
| ***5. mód a begyűjtésre*** | *jármű telítettség optimalizálása* |
| ***6. mód a begyűjtésre*** | *telítődési trend figyelembe vétele során a nem telített, de hamarosan várható telítődésű edények ürítései bekerülnek a rendszerbe.* |
| ***7. mód a begyűjtésre*** | *az elkészült útvonalterv begyűjtés folyamata alatt a jármű kapacitás-kihasználtság vizsgálata miatt további edény felvételére kerül sor.* |
| ***8. mód a begyűjtésre*** | *az elkészült útvonalterv begyűjtés folyamata alatt újradefiniálásra kerül, a közelben éppen telítődött edények miatt.* |
| ***9. mód a begyűjtésre*** | *más szolgáltatókkal – közútkezelő, közterület–fenntartó – történő kommunikálás során az útvonalterv újradefiniálásra kerül.* |

***8.1. táblázat: Az egyes begyűjtések során figyelembe vett szempontok/célok/ feladatok***[61]

[61] Forrás: saját szerkesztés

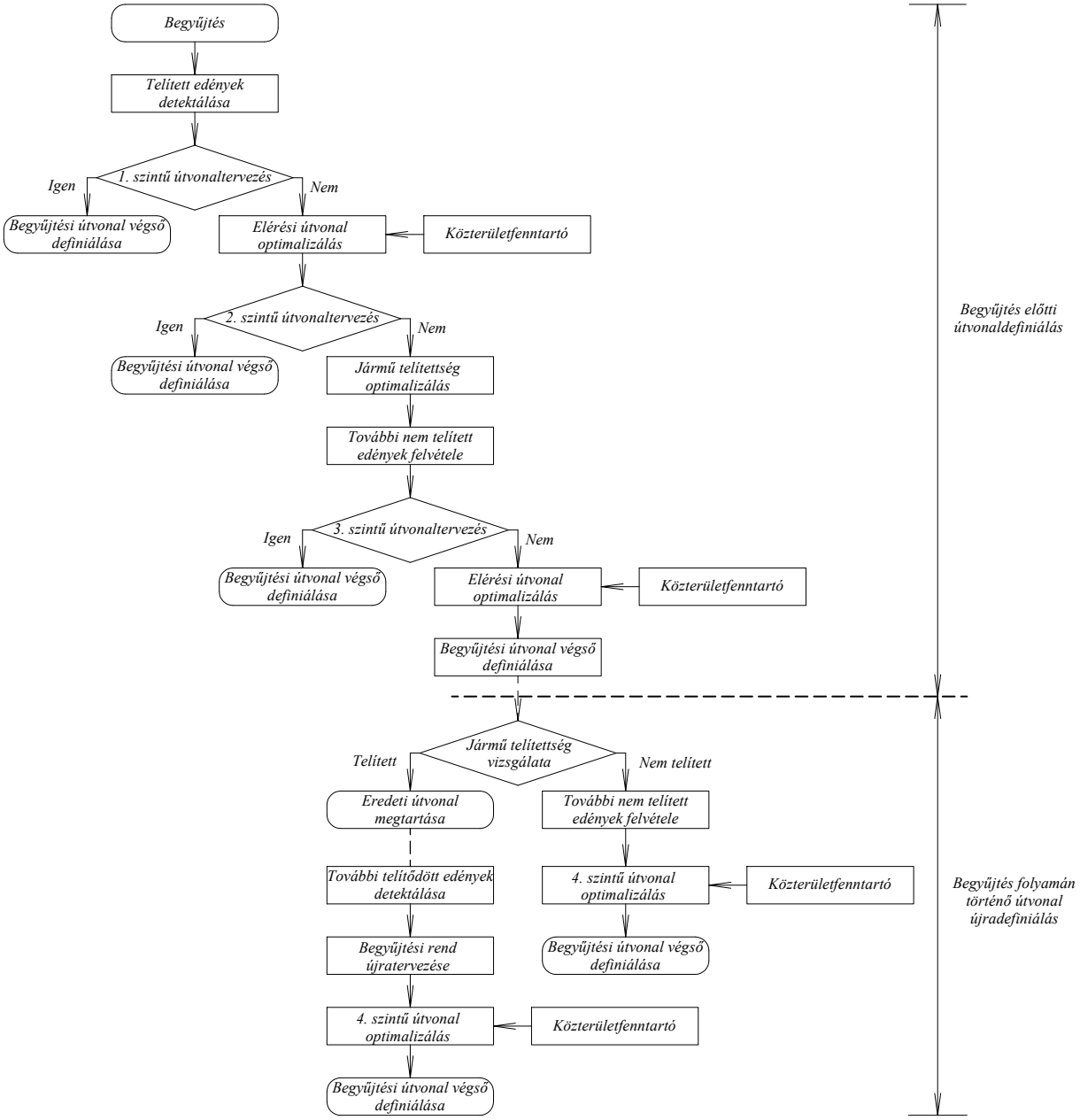
| | ***Előnyök*** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ***optimalizált útvonal*** | ***edény tartalma felvehető*** | ***optimalizált begyűjtési mód*** | ***optimalizált jármű kapacitás–kihasználtság*** | ***optimalizált ürítési rend*** |
| ***1. mód a begyűjtésre*** | | ***X*** | | | |
| ***2. mód a begyűjtésre*** | ***X*** | | | | ***X*** |
| ***3. mód a begyűjtésre*** | ***X*** | ***X*** | | | ***X*** |
| ***4. mód a begyűjtésre*** | ***X*** | ***X*** | | | ***X*** |
| ***4.1. mód a begyűjtésre*** | ***X*** | ***X*** | ***X*** | ***X*** | ***X*** |
| ***5. mód a begyűjtésre*** | ***X*** | ***X*** | ***X*** | ***X*** | ***X*** |
| ***6. mód a begyűjtésre*** | ***X*** | ***X*** | ***XX*** | ***X*** | ***X*** |
| ***7. mód a begyűjtésre*** | ***X*** | ***X*** | ***XXX*** | ***XX*** | ***X*** |
| ***8. mód a begyűjtésre*** | ***X*** | ***X*** | ***XXX*** | ***XX*** | ***X*** |
| ***9. mód a begyűjtésre*** | ***XX*** | ***X*** | ***XXX*** | ***XX*** | ***X*** |

(több X=magasabb szint)

### *8.2. táblázat: Az egyes begyűjtések során alkalmazott előnyök*[62]

A real–time alapú infokommunikációt alkalmazó szelektív hulladékgyűjtő rendszer az optimális hulladékgyűjtéshez különböző szempontokat vesz figyelembe, melyet a 8.11. folyamatábra ismertet.

[62] Forrás: saját szerkesztés




***8.11. ábra: Emelt szintű hulladékgyűjtés folyamatábrája[63]***

Az egyes területeken lévő optimalizációt ötvözve a hulladékgyűjtés területén a hatékonyságot maximalizálhatjuk, mely során további előnyök érhetők el a környezetvédelem és közlekedésbiztonság területen is.

[63] Forrás: saját szerkesztés

## 8.3. Real–time alapú infokommunikációt alkalmazó szelektív hulladékgyűjtés logisztikájának tervezése – a fejezet összefoglalása

A hulladékgyűjtés hatékonyságának maximalizálása érdekében az egyes optimalizáló elemek egymásra lettek építve. Nem csak az ürítési rend került optimalizálásra, hanem a hozzá elvezető útvonal. További elemként került megvizsgálásra a hulladékgyűjtő jármű kapacitása. Az edény hulladék átlagsűrűsége alapján prognosztizálásra kerül a jármű telítődési pontja és ezt az INPUT adatot a rendszerbe töltve, a járműkapacitás optimalizálását figyelembe véve, az ürítendő edények és a hozzájuk elvezető útvonal újradefiniálásra kerül. Az újradefiniálás alatt a statisztikai adatokra támaszkodva további olyan edények kerülnek ürítésre, amelyek még nem telítettek, azonban a telítődési trendet figyelembe véve telítődésük hamarosan várható.

A definiált útvonal, mely a hulladékgyűjtő jármű bejárása – a valós idejű infokommunikációnak köszönhetően – során a további telítésre került edények az újradefiniálás lehetőségének köszönhetően felvételre kerülnek. Ez esetben járműkapacitás–vizsgálatot kell végrehajtani.

A gyakori útburkolat karbantartás és – felújítás során egyes utak, hidak, aluljárók félpályás vagy teljes lezárásra kerülnek. A rendszer real–time alapon kommunikálva a közútkezelővel, képes INPUT adatként az ilyen jellegű beavatkozásokat figyelembe venni és módosítani a tervezett útvonalat megfelelő szempont szerint. Célszerű figyelembe venni a Kalincsák István és társai általa szerkesztett [87] publikációt, mely beszámol a közlekedési rendszerek tervezése területén a közművek nyomvonalának számításba vételével, hiszen a főbb közművek az úttest alatt helyezkednek el, így meghibásodásuk esetén komoly forgalomkorlátozások alakulnak ki. A közműtérkép felvitele alapján „előre lehet kalkulálni” a magasabb rizikófaktorral rendelkező helyeket.

A fejezet alapján további tézisek kerültek megfogalmazásra:

***3. TÉZIS: A hulladékgyűjtés logisztikai teljesítményének analízisével komplex rendszert alkottam meg: real–time alapon további rendszereket integrálva a folyamatba, ezzel optimalizálva a hatékonyságot. Az infokommunikációs rendszer alkalmazása lehetővé teszi hulladékgyűjtés során a további telítődésre került edények ürítését [73].***

Az új szelektív hulladékgyűjtő rendszer hatásfokát tovább növeltem külső rendszerek kapcsolatával, amely szintén real–time alapon képes a rendszerbe INPUT adatokat küldeni.

*3.1. Az edény felvételének döntési kritériumát a hulladékgyűjtő jármű telítődéséhez rendeltem, mint a járatterv újraoptimalizálásának változóját.*

*3.2. A gyakori telítettségű edény kapacitás bővítésének (edény darabszám) optimalizálását a rendszermodell segítségével alátámasztottam.*

A továbbfejlesztésnek köszönhetően a nem telített és nem várható telítődésű edény, a begyűjtés folyamán történt telítődése esetén a begyűjtési folyamatba integrálásra kerül a paraméterek megvizsgálását követően.

***4.TÉZIS: Megmutattam, hogy szekvencionálisan végrehajtott optimalizációs folyamat esetén nem mindig elegendő az egyes feladatok optimumát meghatározni, mert ezen „részoptimumok" összessége nem adja meg a teljes optimumot, azaz egy adott időszakra vonatkozó operáció sorozat megoldható kevesebb összköltséggel, ha az egyes járatterv optimuma nem csak az adott körre vonatkozik, hanem figyelembe veszi az adott körök paramétereit [73].***

Az INPUT adat figyelembe vételével a programozási feladat nem csak egy adott begyűjtési kört optimalizál, hanem egy operáció sorozat kerül optimalizálásra.

# 9. A real–time alapú infokommunikációs rendszer alkalmazásának előnyei a szelektív hulladékgyűjtés területén

A Győr város tulajdonában lévő GYŐRSZOL Kft. által szolgáltatott adatok alapján vizsgálatok kerültek végrehajtásra az új rendszer bevezetésével kapcsolatosan.

A vizsgálatok végrehajtásához és az optimalizált begyűjtés definiáláshoz nélkülözhetetlen a számítógépes támogatás, ezért két irányban történt a vizsgálat:

- OPEN source–os szoftver használatával (MyRouteOnline, Bing map, stb.),
- kereskedelmi forgalomban kapható PARAGON szoftver alkalmazásával,

amelyet a SZE Logisztika Tanszék segítségének köszönhetően sikerült megismernem, és amelyen a szimulációs vizsgálatokat lefuttattam.

A PARAGON szoftver rendelkezésre állt az egyetemen, így az OPEN source–os szoftverek mélyrehatóbb vizsgálata nem történt meg, hiszen a PARAGON szoftver felépítése, adatfeltöltési lehetősége, kezelhetősége messzemenően a legjobb a járattervező szoftverek között, így a disszertációm elkészítése során – a SZE Logisztika tanszék támogatásával – a szimulációs feladatok lefuttatása ebben a szoftverben történt.

1. GYŐRSZOL hulladékgyűjtési vizsgálata Győr városán kívül

A vizsgált intervallumra jellemző adatok:

- gyűjtött hulladékfajta: PET palack,
- a vidéki gyűjtőjárat 177 edény ürítését végzi el,
- bejárt útvonalhossz ~1100km,
- alkalmazott edények térfogata 2,5$m^3$,
- egy gyűjtőszigeten 1 db edény került alkalmazásra 1 hulladékfajtából.

**Összes edényt felkeresve:**

A hulladékgyűjtés során 177 edény ürítése kerül elvégzésre (9.1. ábra). A járattervezés előtt az edények telítettsége nem kerül megvizsgálásra.

*9.1. ábra: 177 edény begyűjtési terve*[64]

A vizsgáltra jellemző adatok:

- a vidéki gyűjtőjárat 177 edény ürítését végzi el,
- bejárt útvonalhossz ~1100km,
- 3 járműfordulóval végrehajtott begyűjtés.

**Üres edények felvételének mellőzése:**

A hulladékgyűjtés során 144 edény ürítése kerül elvégzésre (9.2. ábra). A járattervezés alapján az üres edények nem kerülnek felvételre.

[64] Forrás: saját szerkesztés, Paragon szoftver alkalmazásával

***9.2. ábra: 144 edény begyűjtési terve[65]***

A vizsgáltra jellemző adatok:

- a vidéki gyűjtőjárat 144 edény ürítését végzi el,
- bejárt útvonalhossz ~1000km,
- 3 járműfordulóval végrehajtott begyűjtés.

A szimulációs vizsgálatot lefuttatva – csak az üres edények begyűjtésének mellőzésével – 100km útvonalhossz csökkenés érhető el, és 33 indokolatlan edényemelés marad el.

[65] Forrás: saját szerkesztés, Paragon szoftver alkalmazásával

2. GYŐRSZOL hulladékgyűjtési vizsgálata Győr városán belül

A vizsgált intervallumra jellemző adatok:

- gyűjtött hulladékfajta: PET palack,
- az 5 napos időtartam alatt begyűjtött edények száma: 755db
- bejárt útvonalhossz ~878km,
- alkalmazott edények térfogata 1,1m$^3$,
- egy gyűjtőszigeten 1db edény került alkalmazásra 1 hulladékfajtából.

**Összes edényt felkeresve:**

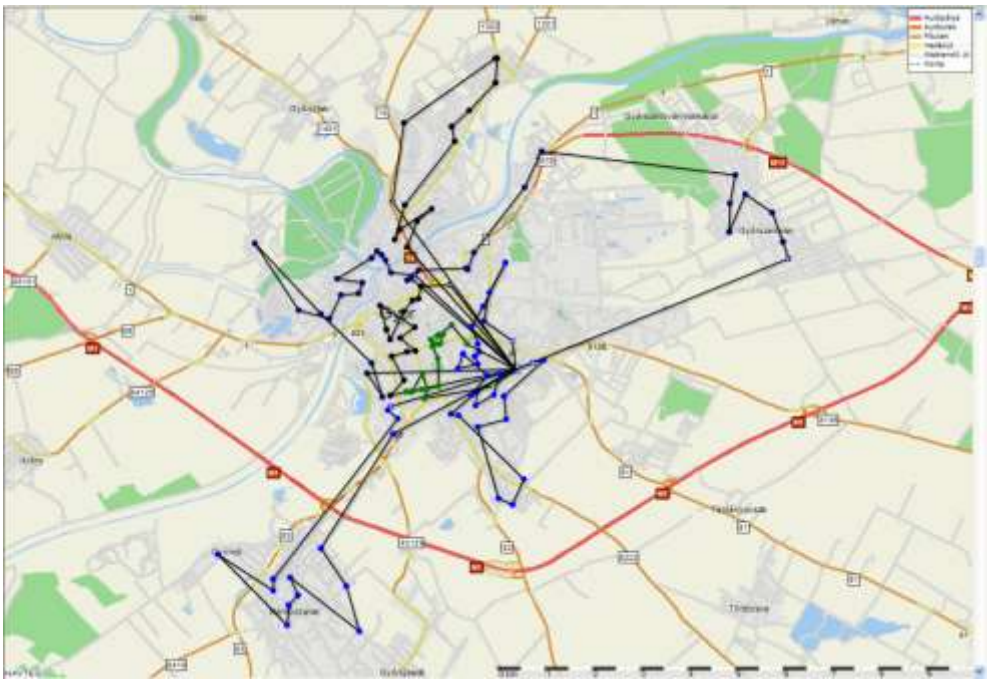
A tetszőlegesen kiválasztott vizsgálatra került 5 napos időintervallumkor a hulladékgyűjtés során 755db edény ürítése került elvégzésre, mely 878km megtételével volt elérhető (1. táblázat). A járattervezés előtt az edények telítettsége nem kerül megvizsgálásra, így az összes edény felkeresése megtörtént, függetlenül attól, hogy ürítésük indokolt volt vagy nem. Az adatok alapján a 755db edényből 135db üres vagy 0–12,5%–os telítettséggel rendelkezett. A jelenleg alkalmazásban lévő 1,1m$^3$ –es felülről nyitható (tölthető és üríthető) edény telítettségi vizsgálata alapján az üres edények helyszíni ürítési indokoltságának vizsgálata alapján –feltételezve – nem kerültek emelésre–ürítésre.

| ***Nap*** | ***Bejárt útvonalhossz [km]*** | ***Alkalmazott járműszám [db]*** | ***Alkalmazott forduló [db]*** | ***Begyűjtött edény [db]*** |
|---|---|---|---|---|
| *Hétfő* | *185* | *4* | *8* | *155* |
| *Kedd* | *165* | *4* | *4* | *152* |
| *Szerda* | *171* | *4* | *5* | *149* |
| *Csütörtök* | *171* | *4* | *5* | *146* |
| *Péntek* | *186* | *3* | *7* | *153* |
| | ***∑878km*** | ***∑19db*** | ***∑24db*** | ***∑755db*** |

***9.1. táblázat: 5 napos hulladékgyűjtés terve[66]***

A hagyományos begyűjtés során kapott útvonaltervek az alábbi ábrákon láthatók, melyek napokra kerültek lebontásra (9.3. ábra–9.7. ábra).

[66] Forrás: saját szerkesztés, Paragon szoftver alkalmazásával

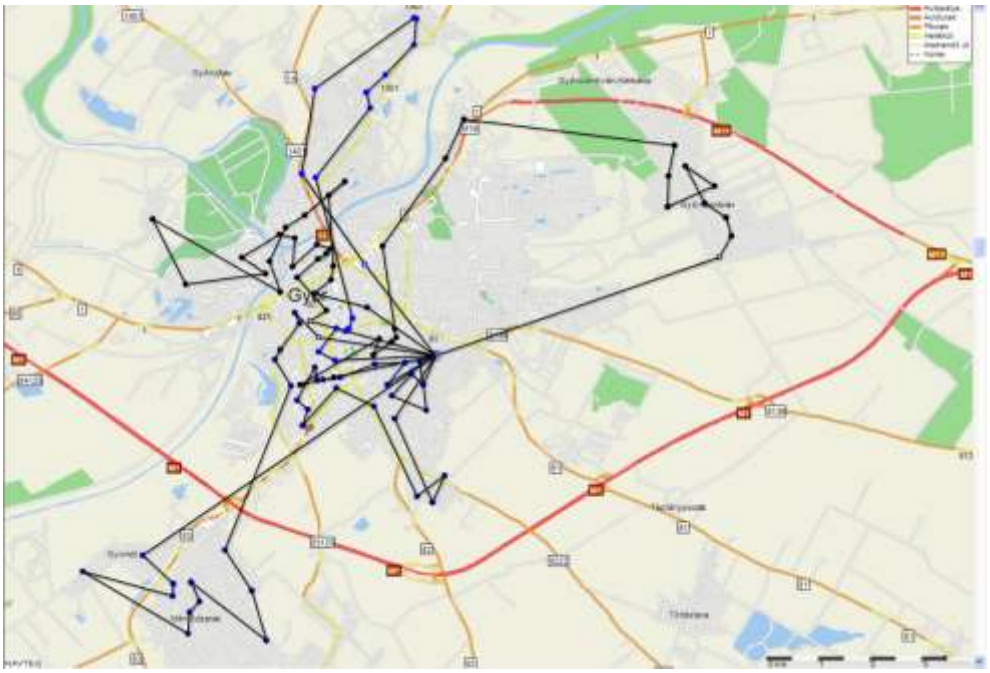


*9.3. ábra: 1. napon történő 155 edény hagyományos begyűjtési terve*[67]

*9.4. ábra: 2. napon történő 152 edény hagyományos begyűjtési terve*[68]

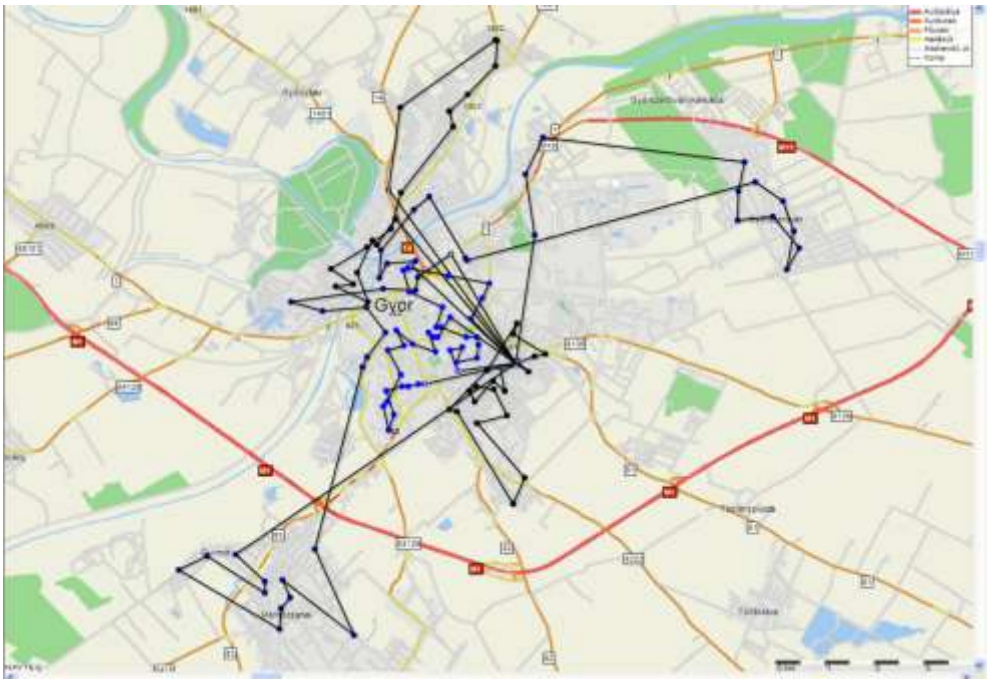
[67] Forrás: saját szerkesztés, Paragon szoftver alkalmazásával
[68] Forrás: saját szerkesztés, Paragon szoftver alkalmazásával

*9.5. ábra: 3. napon történő 149 edény hagyományos begyűjtési terve*[69]



*9.6. ábra: 4. napon történő 146 edény hagyományos begyűjtési terve*[70]

[69] Forrás: saját szerkesztés, Paragon szoftver alkalmazásával
[70] Forrás: saját szerkesztés, Paragon szoftver alkalmazásával




*9.7. ábra: 5. napon történő 153 edény hagyományos begyűjtési terve*[71]

**Indokolt ürítés elvégzése (optimalizált):**

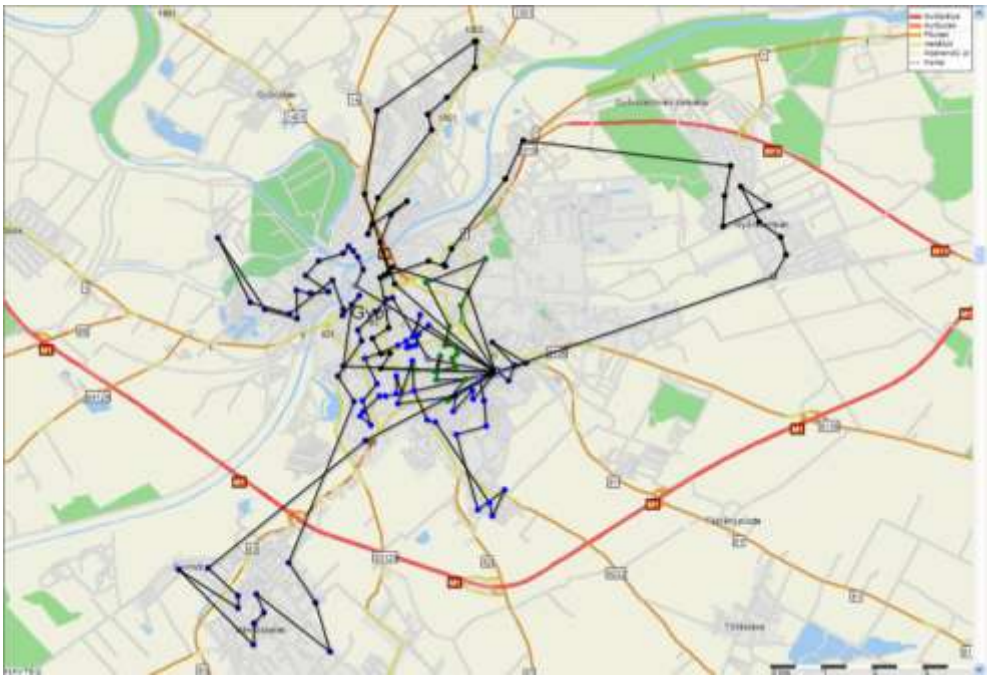
Az adatok alapján a 755db edényből 135db üres vagy 0–12,5%–os telítettséggel rendelkezett. Ezek az edények nem kerültek felvételre, továbbá az olyan edények, amelyek egymás utáni 2 ürítéskor érték el a 100%–os telítettséget összevonásra kerültek, így az első ürítés nem került végrehajtásra. Az optimalizálás alapján a járművek 795km-t tettek meg és 615db edényt ürítettek (9.2. táblázat).

| ***Nap*** | ***Bejárt útvonalhossz [km]*** | ***Alkalmazott járműszám [db]*** | ***Alkalmazott forduló [db]*** | ***Begyűjtött edény [db]*** |
|---|---|---|---|---|
| *Hétfő* | *175* | *4* | *8* | *155* |
| *Kedd* | *138* | *3* | *4* | *89* |
| *Szerda* | *150* | *3* | *6* | *121* |
| *Csütörtök* | *159* | *3* | *6* | *121* |
| *Péntek* | *173* | *3* | *7* | *129* |
| | ***∑795km*** | ***∑16db*** | ***∑31db*** | ***∑615db*** |

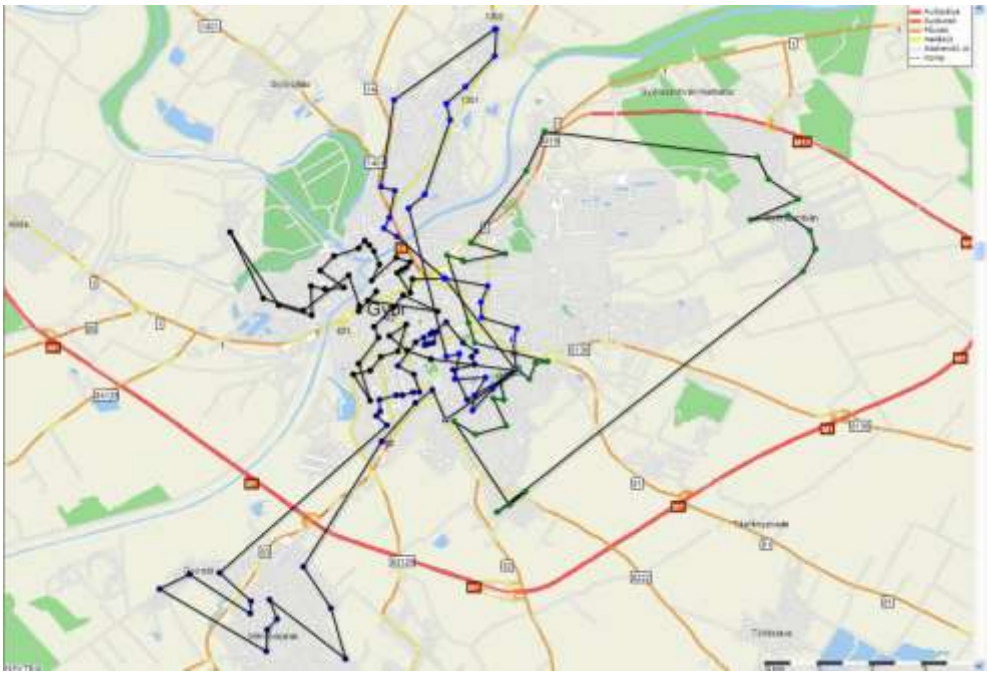
*9.2. táblázat: 5 napos hulladékgyűjtés terve optimalizációt alkalmazva*[72]

[71] Forrás: saját szerkesztés, Paragon szoftver alkalmazásával

A továbbfejlesztett begyűjtés során kapott útvonaltervek az alábbi ábrákon láthatók, melyek napokra kerültek lebontásra (9.8. ábra–9.12. ábra).



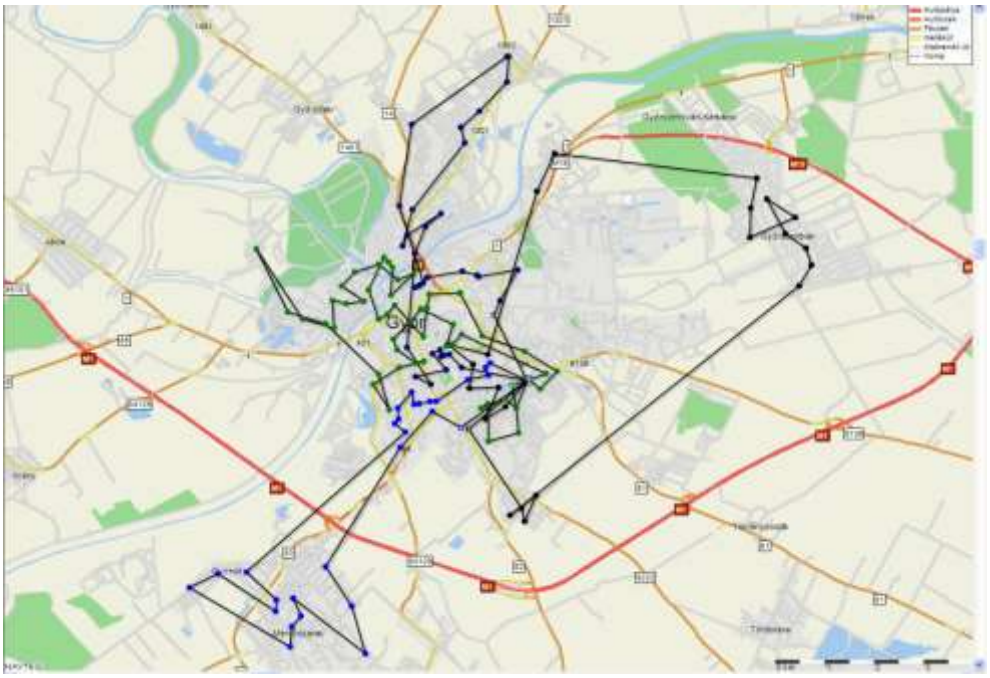
***9.8. ábra: 1. napon történő 155 edény optimalizált begyűjtési terve[73]***



***9.9. ábra: 2. napon történő 89 edény optimalizált begyűjtési terve[74]***

[72] Forrás: saját szerkesztés, Paragon szoftver alkalmazásával
[73] Forrás: saját szerkesztés, Paragon szoftver alkalmazásával

*9.10. ábra: 3. napon történő 121 edény optimalizált begyűjtési terve*[75]



*9.11. ábra: 4. napon történő 121 edény optimalizált begyűjtési terve*[76]

[74] Forrás: saját szerkesztés, Paragon szoftver alkalmazásával
[75] Forrás: saját szerkesztés, Paragon szoftver alkalmazásával
[76] Forrás: saját szerkesztés, Paragon szoftver alkalmazásával

*9.12. ábra: 5. napon történő 129 edény optimalizált begyűjtési terve*[77]

A táblázatok (9.1 és 9.2 táblázat) adatait vizsgálva 5 napos időintervallum alatt kb. 80km többletút takarítható meg Győr város szelektív hulladékgyűjtési területén, továbbá 140db indokolatlan ürítés kerülhető el.

A jelenleg alkalmazásban lévő 1,1m$^3$–es felülről nyitható (tölthető és üríthető) edény telítettségi vizsgálata alapján az üres edények helyszíni ürítési indokoltságának vizsgálata alapján nem kerültek emelésre–ürítésre, azonban az edények folyamatos cseréje (álló, optimalizált bedobónyílású, alulról üríthető) során helyszíni ürítési indokoltság vizsgálatot nem lehet elvégezni, így azok ürítésre kerülnek, mely során komoly környezetterhelés megy végbe.

A rendszer alapfejlesztésével – edény telítettség vizsgálat – az alábbi előnyök fogalmazhatók meg:

- közvetlenül:
  - ~10% útvonalhossz csökkenés,
  - ~20%–kal kevesebb edény emelés–ürítés,
  - karbantartás– és javításcsökkenés mind az edény és mind a jármű vonatkozásában,

[77] Forrás: saját szerkesztés, Paragon szoftver alkalmazásával

- közvetetten:
    - egészségügyi költségcsökkenés (EU vizsgálata alapján rákkeltő hatású a dízel kipufogógáz),
    - közlekedésbiztonság területén (kevesebb megtett út, kisebb balesetveszély).

A közvetett előnyök területén megfogalmazott közlekedésbiztosítási előnyök megjelennek az [88] ETAC tanulmányában, mely szerint a teherautó balesetek esetén a tehergépjárművezető és a balesetben másik résztvevője esetén a kritikus, és halálos kimenetelű baleseteknél a másik fél nagyságrenddel nagyobb rizikónak van kitéve, mint a tehergépjárművezető.

Fontos megemlíteni, hogy a rendszer biztonságos működésére nagy hatással van a gyűjtési kultúra, azaz „alapelemek" szükségesek hozzá. A szimulációs vizsgálatot Győrre elkészítve elmondható, hogy a rendszer teljes biztonsággal nem működtethető az alábbi okok miatt:

- a szelektív hulladékgyűjtés kultúrája még nem érte el a megfelelő szintet, hiszen a szelektív hulladékgyűjtő edényeket nem rendeltetésszerűen használják („az edényben a betontörmeléken keresztül az állati tetemig minden megtalálható"),
- a szelektív hulladékgyűjtő edények felülről „teljes felületen" nyithatóak, így azok:
    - az oda nem illő anyagok behelyezését nagymértékben megkönnyítik, illetve
    - az eltulajdonítás nehézségét (tartalom, ill. különböző egységek) nagyságrenddel csökkentik.

A szelektív hulladékgyűjtő edények nem megfelelő használata esetén – inhomogén anyagtartalom – is lehetőség nyílik a hulladék homogenizálására, melyet a Validation of remote, on–line, near–infrared measurements for the classification of demolition waste [89] cikk is alátámaszt. A cikkben a szerzők a gépiesített hulladékszelektáló rendszer hulladékválogatási pontosságát vizsgálták. A validálás során elégé pontos értékeket kaptak, kb. 97%–os homogenitást.

# 10. Összefoglalás, tézisek, továbbfejlesztési irányok

A doktori disszertációm megírása során elmondhatom, hogy egy új, tudományos eredménnyel bíró, hatékonyabb szelektív hulladékgyűjtő módszert sikerült definiálnom.

A vizsgálatok során a hazai és nemzetközi irodalmakat tanulmányozva átfogó képet adtam a hulladékgyűjtés területéről. A doktori disszertációban az ezekben fellelhető gondolatokat továbbfejlesztve, kiegészítve és további gondolatok definiálásával egy teljesen új szelektív hulladékgyűjtő rendszert ismertettem.

Mélyreható vizsgálatot hajtottam végre a PET palack edénybe történő elhelyezésével kapcsolatosan, pontosabban azzal, hogy milyen módon történő előtömörítéssel kell élnünk az edény kapacitás-kihasználtságának maximalizálása érdekében.

Számítógépes és laboratóriumi mérések kerültek validálásra a hétköznapi hulladékgyűjtési adatok felhasználásával. A hulladékgyűjtő járműben a továbbtömöríthető hulladék átlagsűrűségi határának megadásával lehetőség nyílt a jármű telítődés–optimalizálásának vizsgálatára.

Disszertációm írása során arra törekedtem, hogy a hulladékgyűjtés folyamatát több szempont figyelembe vételével optimalizáljam, azaz a hulladékgyűjtés hatékonyságát maximalizáljam.

**Tézisek:**

***1. TÉZIS: Definiáltam egy új, szelektív hulladékgyűjtő rendszert, amely info–kommunikációs csatolással analizálja az edények telítettségi állapotát, ezzel maximalizálva a hulladékgyűjtő járatok hatékonyságát. [68, 69, 71]***

A validálásommal alátámasztottam, hogy az általam definiált új hulladékgyűjtő rendszer a szakirodalomban fellelhető–, és a jelenlegi gyakorlatban alkalmazottnál is hatékonyabb.

***2. TÉZIS: Új összetett mérési módszer megalkotása, majd alkalmazása segítségével a jármű kapacitás-kihasználtságot maximalizáltam a bejárási útvonalhossz optimalizálása mellett [69, 70].***

A kutatás kiterjedt a szelektív hulladékgyűjtő edénybe elhelyezett hulladék térfogat és továbbtömöríthetőség analizálására. A vizsgálat kiterjedt arra, hogy a felhasználó által

különböző módon előtömörített csomagolóanyag milyen mértékben tömöríthető tovább. A továbbtömöríthetőségi érték nagy jelentőséggel bír a szelektív hulladékgyűjtő jármű telítődésének időpontjára.

*2.1. Definiáltam és megalkottam egy összetett mérési rendszert, amely képes az edénybe bedobott hulladék pontos tömöríthetőségét ismertetni a járattervező központtal.*

*2.2. Az új mérési rendszer alkalmazásával nagy pontossággal meghatározható az edénybe elhelyezett hulladék térfogata és tömege. Ennek alapján lehet következtetni a továbbtömöríthetőségről, így prognosztizálni lehet a hulladékgyűjtő jármű telítődésének időpontját.*

*2.3. A járműkapacitás-kihasználtság folyamatos monitoringozása során a tervezett edényfelvételeket követően, szabad hely esetén, további edények felvételére kerül sor az optimális kiválasztást szem előtt tartva.*

***3. TÉZIS: A hulladékgyűjtés logisztikai teljesítményének analízisével komplex rendszert alkottam meg: real–time alapon további rendszereket integrálva a folyamatba, ezzel optimalizálva a hatékonyságot. Az infokommunikációs rendszer alkalmazása lehetővé teszi hulladékgyűjtés során a további telítődésre került edények ürítését [73].***

Az új szelektív hulladékgyűjtő rendszer hatásfokát tovább növeltem külső rendszerek kapcsolatával, amely szintén real–time alapon képes a rendszerbe INPUT adatokat küldeni.

*3.1. Az edény felvételének döntési kritériumát a hulladékgyűjtő jármű telítődéséhez rendeltem, mint a járatterv újraoptimalizálásának változóját.*

*3.2. A gyakori telítettségű edény kapacitás bővítésének (edény darabszám) optimalizálását a rendszermodell segítségével alátámasztottam.*

A továbbfejlesztésnek köszönhetően a nem telített és nem várható telítődésű edény, a begyűjtés folyamán történt telítődése esetén a begyűjtési folyamatba integrálásra kerül – a paraméterek megvizsgálását követően.

***4. TÉZIS: Megmutattam, hogy szekvencionálisan végrehajtott optimalizációs folyamat esetén nem mindig elegendő az egyes feladatok optimumát meghatározni, mert ezen „részoptimumok" összessége nem adja meg a teljes optimumot, azaz egy adott időszakra vonatkozó operáció sorozat megoldható kevesebb összköltséggel, ha az egyes járatterv optimuma nem csak az adott körre vonatkozik, hanem figyelembe veszi az adott körök paramétereit [73].***

Az INPUT adat figyelembe vételével a programozási feladat nem csak egy adott begyűjtési kört optimalizál, hanem egy operáció sorozat kerül optimalizálásra.

**További kutatási irányok:**

A disszertációm végén ismertetem azokat a továbbfejlesztési irányokat, amelyekkel még a rendszer magasabb adatszolgáltatási pontossággal bír, illetve további értékkel rendelkezik.

1. Edényben lévő hulladék paraméterpontosságának növelési lehetősége

A rendszer pontossági szintjének növelése céljából további kereskedelmi forgalomban kapható edények paramétereinek vizsgálata szükséges. A folyamatosan megjelenő új formájú, térfogatú és megnövelt merevségű PET palackok vizsgálata nélkülözhetetlen a pontosabb adatgyűjtés érdekében. Az egyes begyűjtési körzet hulladékgyűjtési kultúrájának vizsgálata alapján lehetőség nyílik olyan korrekciós tényezők alkalmazására, amely magasabb biztonsággal rendelkezik a hulladékgyűjtő jármű telítettség–optimalizálásához.

2. Edény telítettség állapotának ismertetése a felhasználóval

Fontosnak tartom azt a fejlesztési irányt, hogy az edény telítettségi szintje ne zárt információáramlású legyen, hanem az a felhasználó számára is elérhető legyen – nyílt forrású információ*. Olyan applikáció kifejlesztésére van szükség, amely többek közt akár az „okostelefonokon" futtatható, és döntést támogató – hulladékelhelyezés szempontjából – a megfelelő edény kiválasztása érdekében. Az INPUT adatként megadott elhelyezni kívánt térfogat és a GPS/WiFi általi helymeghatározás alapján meghatározásra kerülhet az az edény, amely az általunk elhelyezni kívánt hulladékot képes befogadni, akár az edény eléréséig optimalizált útvonal megadásával.

*"Nyílt forrású információ (Open Source Information – OSIF): olyan nyílt forrású adatok, amelyeket adott szemlélet alapján gyűjtenek, értékelnek és feldolgoznak. Általában olyan széles körben terjesztett anyagok, mint a könyvek, újságok, rádió– és –televízió–műsorok, stb.

Nyílt forrású információszerzés (Open Source Intelligence – OSINT): olyan információgyűjtő eljárás, amely során a nyilvánosan (a publikum számára) elérhető forrásokból az információkat felkutatják, elemzik, értékelik és felhasználják egy adott cél elérése érdekében, általában a parancsnok és annak közvetlen törzse, által feltett kérdés megválaszolására. Más szavakkal az információszerzés kipróbált eljárásainak alkalmazása a széles körben hozzáférhető nyílt adatforrásokra. A nyílt forrású információszerzés nem kizárólag katonai

felderítési vagy információszerzési kategória, mivel ezt a tevékenységet a civil szférában is folytatják.” [90]

3. Hulladékgyűjtő jármű kihasználtságának növelési lehetősége

A több tonnás jármű üzemeltetése során elég csekélynek bizonyul a néhányszáz kilogrammos hulladék begyűjtése. A PET alapanyagra jellemző 1350kg/m$^3$ sűrűségi érték a palack késztermék tömörítése esetén csak elméleti szinten érhető el. A jelenlegi tömörítést alkalmazva is mindössze 20kg/m$^3$ átlagsűrűség érhető el, amely nagyságrendekkel elmarad az anyagsűrűségtől. Célszerű vizsgálatot végrehajtani speciális shredder hulladékgyűjtő járműre történő integrálásának lehetőségével kapcsolatosan. Az ilyen eszköz használatával a begyűjtött hulladék átlagsűrűsége nagyságrenddel növelhető lenne. Fontos szem előtt tartani, hogy a folyékony élelmiszertárolására alkalmazott termék palackja több alapanyagból tevődik össze (10.1. ábra).

***10.1. ábra: PET palack alkotóelemeinek anyaga[78]***

Műanyagipari alapanyagként a különböző anyagok keverése – ezen anyagok esetén – nem megengedett, alapanyagként történő felhasználásra kizárólag csak homogén formában van

[78] Forrás: saját készítés

lehetőség. A technika fejlődésének köszönhetően különböző fizikai eljárásokat alkalmazva az anyag szerinti szelektálásra van megoldás, függetlenül az anyag „méretétől", – ép palack vagy palack darált formában – így lehetőség van a palack ledarálására anélkül, hogy veszélyeztetnénk az újrahasznosítás lehetőségét [91].

Gépjárműre integrált shredder alkalmazásának főbb szempontjai:

- egyszerű integrálás,
- biztonságos energiaellátás,
- nagy feldolgozókapacitás,
- feldolgozóképesség akár a járműbe történő űrítés után,
- hanghatások minimalizálása.

4. A rendszer egyéb logisztikai területen történő alkalmazhatóságának vizsgálata

A rendszer főleg olyan helyeken alkalmazható, ahol az árukészlet mennyiségének ellenőrzése problémát jelent – be kell járni az adott területet és felmérni a készletet. A disszertációban inverz logisztikai példa segítségével kerül prezentálásra a rendszer, azonban a logisztika területén pl. az ital– és egyéb automaták árukészlet feltöltési optimalizációjára adna lehetséges megoldást.

Itt az alap matematikai modellt formázzuk át, ahol a klasszikus modell nem engedett, ott a korlátozó feltételekkel variálunk.

## 10. Conclusion, Theories and Improvements

I can confidently say that in my doctoral thesis I was able to define a novel, scientifically significant and more efficient selective garbage collecting system.

During my research I have reviewed domestic and international literature, which enabled me to provide a complete overview on the topic of waste management.

In my thesis I have utilized principles presented in the literature, improved on methodologies, and implemented new ideas, which at the end resulted in a uniquely novel selective waste collecting system.

I have conducted an in depth research regarding PET bottle compacting. In particular I was interested in the manner of bottle placement and orientation during pre-compacting in order to maximize the utilization of available volume capacity.

Daily domestic recycling and garbage collecting data were used to perform computer analysis and to validate laboratory experimental results.

The determination of average density limit of compactable garbage inside a waste collecting truck allowed for the analysis and optimization of vehicle fill rate (VFR).

During the composition of this thesis my aim was to optimize and maximize the efficacy of garbage collection system by utilizing a wide scope analysis of waste management processes.

### Further Research

At the end of my thesis I will present improvements, which provide even better values and more precision in parameter determination.

1. Possibilities to Increase the Accuracy of Bottle Waste Parameters

To increase the accuracy of the system it is necessary to investigate the parameters of the commercially available bottles. For the accuracy of that data, it is necessary to analyses the continuously changing PET bottles, which appear in new shapes, with novel volumes and

differing stiffness. It is possible to generate correction factors to ensure optimization of garbage collection vehicle fill rate with the utilization of data analysis from investigations of the given garbage collection regions.

2. Informing Consumers about Collector Receptacle Fullness Levels

I believe in the importance of "free information flow". I think that garbage receptacle fullness levels should not be concealed, but disclosed to consumers. There is a need for Apps, which are able to run for example on smart phones, to aid garbage disposal by selecting the appropriate garbage disposal locations and receptacles. The INPUT data can include consumer location, waste volume to be disposed, and disclosed receptacle fullness in the surrounding region. The App could identify the appropriate receptacle that can accommodate the waste volume to be disposed, and direct the consumer to its location by the best route using GPS/WiFi data signals.

3. Optimizing the Utilization of Garbage Collecting Trucks

Presently operating trash trucks weigh many tons, while their garbage cargo is only couple of hundred kilograms, indicating the ease by which these vehicles can collect their appropriate wastes. The density of PET bottle's plastic material is 1350kg/m³. This density cannot be reached by compacting used PET bottles. It is a theoretical upper limit. Current compacting techniques result in a 20kg/m³ density only, which is way below the theoretical density. It would be beneficial to investigate the possibility of a shredder containing garbage collecting vehicle. With this integrated machine, the average density of collected plastic could dramatically be increased. It is important to remember that bottles used for liquid food products may be prepared from different materials.

***PET Bottle and its Composition***

In the plastic industry plastics with differing compositions cannot be mixed together and utilized, only identical plastics can be reprocessed. As a result of technical advancements and physical isolation techniques, it is possible to separate plastics independent of the size of the particles be it an entire bottle or a small plastic shred. Accordingly, plastic bottles can be shredded without endangering the possibility of recycling.

Advantages of Shredder Containing Garbage Collecting Vehicles:

- easy integration
- secure power supply
- large shredding capacity
- shredding capability even after plastic is inside the vehicle
- reduced noise

## 4. Possibility of Utilizing the System in Other Logistic Areas

This system can be used at instances where inventory management of goods is problematic, because it requires the exploration of the given area and the itemization of the stocks. In the thesis the system was presented using an example of inverse logistics, however it can be utilized for example in soda or other vending machine restocking to optimize the refilling process.

In this case the basic mathematical model is reformatted, but in cases where the classical model cannot be applied the limiting parameters are adjusted.

## 11. Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnék mondani mindazoknak, akik segítségemre voltak a kutatómunkám során, valamint az értekezésem elkészítésében.

Köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőmnek, Dr. Lakatos Istvánnak a munkám szakmai irányításáért.

Köszönöm a Széchenyi István Logisztika Tanszék munkatársainak a segítségéért. Szaktudásukkal, javaslataikkal felbecsülhetetlen mértékben segítették munkámat.

Köszönöm a POLYDUCT Kft. és GYŐRSZOL Zrt. adatellátási segítségét.

Köszönöm mindazon tanszéki és nem tanszéki munkatársaimnak, akikkel a kutatásaim során együtt dolgoztam az együttműködést és a részükről tapasztalt segítőkészséget.

Köszönöm édesapámnak és édesanyámnak, és barátnőmnek a türelmet és bíztatást, amellyel segítettek munkám elkészítésében.

## 12. Irodalomjegyzék

[1] Környezetmérnöki Tudástár Sorozat szerkesztő: Dr. Domokos Endre, 19. kötet Hulladékgazdálkodás II. Szerkesztő: Dr. Kurdi Róbert, Veszprém Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet ISBN: 978–615–5044–44–1 (2012).

[2] Bulky Waste Guidance: Benefits of reusing & recycling bulky waste (2015.03.02).

www.wrap.org.uk/la

[3] Bogner, J, M, Abdelrafie Ahmed, C, Diaz, A, Faaij, Q, Gao, S, Hashimoto, K, Mareckova, R, Pipatti & T, Zhang: Waste management in climate change, in B, Metz, OR, Davidson, PR,B osch, R, Dave, LA, Meyer (eds), Mitigation contribution of working group iii to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, (2007), pp. 586–618.

[4] Samiha Bouanin: Assessing Municipal Solid WasteManagement in China. World Journal of Social SciencesVol. 3. No. 4. July 2013 Issue, (2013), pp. 71–83.

[5] Geng, Y, Zhu, QH & Haight, 2007: Planning for integrated solid waste management at industrial park level: a case of Tianjin, China. Waste Management, vol. 27, (2007), pp. 141–150.

[6] Dong Qing Zhang, Soon Keat Tan&Rechard M, Gersberg: Municipal solid waste management in China: status, problems and challenges. Journal of Environmental Management, vol. 91, (2010), pp. 1623–1633.

[7] Böröcz Péter János: Az egyutas és többutas csomagolás a logisztikában Doktori értekezés, Széchenyi István Egyetem, Regionális és Gazdaságtudományi Doktori Iskola (2010).

[8] http://eur–lex.europa.eu/legal–content/HU/TXT/?uri=CELEX%3A31999L0031

[9] http://eur–lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1994L0062:20090420:HU:PDF

[10] http://eur–lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1994L0062:20090421:HU:PDF

[11] http://eur–lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:114:0009:0021:en:PDF

[12] http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0600020.KVV

[13] Guilberto Borongan & Shigefumi Okumura, Municipal waste management report: status–quo and issues in south east and East Asian countries, Copyright VAIT/UNEP Regional Resource Center for Asia and the Pacific, United Nations Environment Programme, Thailand. (2010).

[14] Christian Ludwig, Stefanie Hellweg & Samuel Stucki: Municipal solid waste management: strategies and technologies for sustainable solutions, Springer, Berlin, New York (2003).

[15] Zhu Minghua, Fan Xiumin, Alberto Rovetta, He Qichang, Federico Vicentini, Liu Bingkai,Alessandro Giusti, Liu Y: Municipal solid waste management in Pudong New Area, China, Waste Management, 29, (2009), pp. 2939 – 2949.

[16] Chuanbin Zhou, Wanying Xu, Yajun Lan, Rusong Wang: Community Based Waste–to–Market Model for Sustainable Municipal Solid Waste Management: Closing the Ecological Loop

http://www.athens2014.biowaste.gr/pdf/zhou_et_al.pdf

[17] Shuang Li, Nengmin Wang, Zhengwen He, Ada Che, and Yungao Ma: Design of a Multiobjective Reverse Logistics Network Considering the Cost and Service Level. Mathematical Problems in Engineering Volume 2012, Article ID 928620, (2012), pp. 1–21.

http://dx.doi.org/10.1155/2012/928620

[18] A, Rovetta, F, Xiumin, F, Vicentini, Z, Minghua, A, Giusti, H, Qichang.: Sensorized waste collection container for content estimation and collection optimization, Waste Management, 29, (2009), pp. 1467 – 1475.

[19] 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, (2009), pp. 2939 – 2949.

[20] Byung–In Kim, Seongbae Kim, Surya Sahoo: Waste collection vehicle routing problem with time windows Computers & Operations Research 33, (2009), pp. 3624 – 3642.

[21] A. M. Benjamin, J.E. Beasley: Metaheuristics for the waste collection vehicle routing problem with time windows, driver rest period and multiple disposal facilities. Computers & Operations Research 37, (2010), pp. 2270–2280.

[22] Baldacci, R., Bartolini, E., Mingozzi, A., & Valletta, A. : An Exact Algorithm for the Period Routing Problem. Operations Research, Vol. 59, (2011), pp. 228–241.

[23] Teemu Nuortio, Jari Kytöjoki, Harri Niska, Olli Bräysy: Improved route planning and scheduling of waste collection and transport Expert Systems with Applications 30, (2006), pp. 223–232.

[24] Surya Sahoo, Seongbae Kim, Byung–In Kim, Bob Kraas és Alexander Popov Jr.: Routing Optimization for Waste Management, Interfaces, Vol. 35, No. 1, (2004), pp. 24–36.

[25] Dang Vu Tung, Anulark Pinno: Vehicle routing scheduling for waste collection in Hanoi. European Journal of Operational Research 125, (2000), pp. 449–468.

[26] C, Garce S, Alberto L, Marta P. P, Rivera Urban Waste Recycling Behavior: Antecedents of Participation in a Selective Collection Program 2002 Zaragoza, Spain, Springer–Verlag, (2002).

[27] Surya Sahoo, Seongbae Kim, Byung–In Kim; Bob Kraas, Alexander Popov Jr.; Routing Optimization for Waste Management; Interfaces Vol. 35, No. 1, (2005), pp. 24–36.

[28] O. Apaydin, M. T. Gonullu; Route optimalization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) CASE STUDY; Global NEST Journal, Vol 9, No 1, (2007), pp. 6–11.

[29] Dadras M., Ahmad R. M.,Farjad. B: Integration of GIS and multicriteria decision analysis for urban solid waste management and site selection landfill in Bandar Abbas city, south of Iran. 3rd International Conference on Geoinformation Technology for Natural Disaster Management and Rehabilitation 19–20, October, 2010, The Empress Hotel, Chiang Mai, Thailand, (2010), pp. 14–28.

[30] Chung, SS & Poon, CS: A comparison of waste reduction practices and new environmental paradigm of rural and urban Chinese citizens, Journal of Environmental Management, vol. 62, (2001), pp. 3–19.

[31] Chang, N., Lin, Y.T.: Optimal siting of transfer station locationsin a metropolitan solid waste management system. Journal of Environmental Science and Health, Part A: Environmental Science and Engineering & Toxic and Hazardous Substance Control 32.8, (1997), pp. 2379–2401.

[32] M.F. Badran, S. M. El–Haggar: Optimization of municipal solid waste management in Port Said – Egypt. Waste Management 26, (2006), pp. 534–545.

[33] S. K. Srivastava: Network design for reverse logistics. Omega, vol. 36, no. 4, (2008), pp. 535–548.

[34] P. J. Daugherty, C. W. Autry, and A. E. Ellinger: Reverse logistics: the relationship between resource commitment and program performance. Journal of Business Logistics, vol. 22, no. 1, (2001), pp. 107–123.

[35] M. M. Amini, D. Retzlaff–Roberts, and C. C. Bienstock: Designing a reverse logistics operation for short cycle time repair services. International Journal of Production Economics, vol. 96, no. 3, (2005), pp. 367–380.

[36] S. Lambert, D. Riopel, and W. Abdul–Kader:A reverse logistics decisions conceptual framework. Computers & Industrial Engineering, vol. 61, no. 3, (2011), pp. 561–581.

[37] Hung M. L., Ma H. W., Yang W. F. A novel sustainable decision making model for municipal solid waste management. Waste Management, 2007, 27 (2), (2007), pp. 209–219.

[38] Rathi S.: Alternative approaches for better municipal solid waste management in Mumbai, India. Waste Management, 26(10), (2006), pp. 1192–1200.

[39] Aye, L. and Widjaya, E. R.: Environmental and economic analyses of waste disposal options for traditional markets in Indonesia. Waste Management 26 (Compendex), (2006), pp. 1180–1191.

[40] Beigl, P. and Salhofer, S.: Comparison of ecological effects and costs of communal waste management systems. Resources, Conservation and Recycling 41 (Compendex), (2004), pp. 83–102.

[41] F. Beijoco, V. Semiao, Z. Zsigraiova: Optimization of a municipal solid waste collection and transportation system (2011).

https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142733883/Paper.pdf

[42] Salah R. Agha: Optimizing routing of municipal solid waste collection vehicles in Deir El Balah – Gaz Strip The Islamic University Journal (Series of Natural Studies and Engineering) Vol.14, No.2, 2006, ISSN 1726–6807, (2006), pp. 75–89.

[43] Zotos G, Karagiannidis A., Zampetoglou S, Malamakis A., Antonopoulos I. S., Kontogianni S., Tchobanoglous G. Developing a holistic strategy for integrated waste management within municipal planning: Challenges, policies, solutions and perspectives for Hellenic municipalities in the zero–waste, low–cost direction. Waste Management, 29 (5), (2009), pp. 1686–1692.

[44] Yang L., Li Z. S., Fu H. Z.: Model of Municipal Solid Waste Source Separation Activity: A Case Study of Beijing. Journal of the Air & Waste Management Association, 61 (2): (2011), pp. 157–163.

[45] S. A. Alumur, S. Nickel, F. Saldanha–da–Gama, and V. Verter: Multi–period reverse logistics network design. European Journal of Operational Research, vol. 220, no. 1, (2012), pp. 67–78.

[46] P. J. Daugherty, C. W. Autry, and A. E. Ellinger: Reverse logistics: the relationship between resource commitment and program performance. Journal of Business Logistics, vol. 22, no. 1, (2001), pp. 107–123.

[47] Alan L. Erera, Carlos F. Daganzo: A dynamic scheme for stochastic vehicle routing http://www2.isye.gatech.edu/~alerera/pubs/ereradaganzo2003.pdf (2003).

[48] Beigl, P. and Salhofer, S.: Comparison of ecological effects and costs of communal waste management systems. Resources, Conservation and Recycling 41 (Compendex), (2004), pp. 83–102.

[49] Viotti, P., Polettini, A., Porni, R. & Innocenti, C.: Genetic algorithms as a promising tool for optimization of the MSW collection routes. Waste Management and Research, Vol. 21, (2003), pp. 292–298.

[50] Baldacci, R., Bartolini, E., Mingozzi, A., & Valletta, A. : An Exact Algorithm for the Period Routing Problem. Operations Research, Vol. 59, (2011), pp. 228–241.

[51] Nesli Ciplak: An Analysis of Decision Making Methods in Sustainable Waste Managemen, TINER CONFERENCE PAPER SERIES No: ECL 2015– 1668, (2015), pp. 1–15.

[52] Szilágyi László, Útmutató a differenciált szemétdíjról – HuMuSz, (2009)

[53] Dr. Hirkó Bálint: Elosztási logisztika, Universitas–Győr Kht., (2006), pp. 129–190.

[54] Horváth Adrián, Nagy Zoltán, Hirkó Bálint: Performance Need of Roundtrips Based on Time Capacity Assuming Optimal Vehicle Capacity Utilization. In: Rozália Pigler-Lakner (szerk.) ASCONIKK 2014: Extended abstracts I. Information Technologies for Logistic Systems. Konferencia helye, ideje: Veszprém, Magyarország, 2014.12.14-2014.12.17. Veszprém: University of Pannonia, 2014. (ISBN:978-963-396-046-2)

[55] Prof. J. Cselényi, Prof. B. Illés, Logisztikai rendszerek I. Miskolci Egyetemi Kiadó, (2004).

[56] Ladányi Richárd: Szelektív hulladék gyűjtőszigetek optimális kiszolgálása térinformatikára épülő járattervezéssel Ph.D. értekezés, Miskolci Egyetem, Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola (2013).

[57] Mosonyiné Ádám Gizella; Inverz logisztikai láncok működése és optimalizálási szintjei, EU WORKING PAPERS 1/2008 (2008).

[58] www.italoskarton.hu_upload_article_files_236_08_Bokor_Istvan.pdf

[59] www.dombovar.hu_media_files_17._Hazhoz_meno_szelektiv_hulladekgy._felulvizsg._15.03.26_kieg.pdf

[60] Tamas Peter, Sandor Fazekas, Determination of vehicle density of inputs and outputs and model validation for the analysis of network traffic processes, Periodica Polytechnica, Transportation Engineering Vol. 42.. No 1., DOI: 10.3311/PPtr.7282, (2014), pp. 53–61.

[61] Peter, T. Modeling nonlinear road traffic networks for junction control, International Journal of Applied Mathematics and Computer Science (AMCS), 2012, Vol. 22, No. 3. DOI: 10.2478/v1006–012–0054–1, (2012), pp. 723–732.

[62] Szauter Ferenc, Péter Tamás és Bokor József: Komplex közlekedésdinamikai rendszer vizsgálata, IFFK 2013 konferencia Budapest, 2013. augusztus 28–30. (2013).

[63] Török, A., Kiss,A., Szendro,G.: Introduction to the Road Safety Situation in Hungary, Period. Polytech. Transp. Eng., Vol. 43, No. 1, DOI: 10.3311/PPtr.7510 (2015), pp. 22–26.

[64] Török, A.: Safety Analysis of Foreign Traffic from Visegrad Countries on the Hungarian Network, Period. Polytech. Transp. Eng., Vol. 42, No. 2, DOI: 10.3311/PPtr.7218, (2014), pp. 153–157.

[65] Tamas Peter, Jozsef Bokor and Andras Strobl (2013) Model for the analysis of traffic networks and traffic modelling of Győr. Doi: 0023, IFAC Workshop on Advances in Control and Automation Theory for Transportation Applications (ACATTA 2013) which is to be held in Istanbul, Turkey, 16–17 September 2013. http://www.acatta13.itu.edu.tr/ (2013), pp 167–172.

[66] Fazekas Sándor, Péter Tamás: Database system to support Győr's traffic modelization, SECOND SCIENTIFIC WORKSHOP of Doctoral Schools Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering, BME (Budapest, November 22, 2012). Doi: KJK2012–2–K4, ISBN 978–963–313–070–4, Kiadó: BME KSK. (2012), pp. 1–7.

[67] Péter Tamás: GreenNet hibrid irányítás analízise a városi közlekedés légszennyezésének minimálására Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2015.10.15–2015.10.17.Budapest: Magyar Mérnökakadémia, 2015. 15 p.(„IFFK 2015"; 1.) Paper 02 (ISBN:978–963–88875–3–5) (2015).

[68] Titrik Ádám–Széchenyi István Egyetem: Hulladékgyűjtés logisztikájának optimalizálására szolgáló rendszer, Szabadalmi bejelentés: P 11 00734. (2011).

[69] Ádám Titrik, István Lakatos, Dávid Czeglédi: Saturation Optimization of Selective Waste Gathering Vehicle Based on Real–Time Info–Communication System, In: ASME (szerk.) 2015 ASME/IEEE International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications. Konferencia helye, ideje: Boston, Amerikai Egyesült Államok, 2015.08.02–2015.08.05. New York: American Socety of Mechanical Engineers (ASME), 2015. Paper DETC2015–46720. 7 p. (Volume 9) (ISBN:978–0–7918–5719–9) (2015).

[70] Titrik Ádám, Lakatos István: PET palackok paramétereinek vizsgálata a real–time alapú infokommunikációs hulladékgyűjtés hatékonyságának növeléséhez. In: Péter Tamás (szerk.) Innováció és fenntartható felszíni közlekedés: IFFK 2015. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2015.10.15–2015.10.16. Budapest: Magyar Mérnökakadémia, 2015. Paper 07. (ISBN:978–963–88875–3–5; 978–963–88875–2–8). (2015).

[71] Titrik Ádám, Real–time alapú infokommunikációs eszköz alkalmazása a szelektív hulladékgyűjtésben, Journal of Central European Green Innovation 3 (4), (2015), pp. 117–124.

[72] Ádám Titrik, Sign-in-time Based Info-communication System for Collecting Selective Waste, Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 44(1), pp. 1-4, DOI: 10.3311/PPtr.8086 (2016)

[73] Ádám Titrik, István Lakatos, Adrián Horváth: Logistic conception for real–time based info–communication system applied in selective waste gathering, studia OECOLOGICA, Studia Oecologica 9(1). (2015), pp. 56–67.

[74] Kovács János: Az áruszállítási logisztikai folyamatok hatékony működését szolgáló informatikai rendszer PhD értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar (2002).

[75] Szakállas Gábor, Székely János Ádám, Szeli Zoltán, Szauter Ferenc, Somogyi Huba, Kocsis Szürke Szabolcs: Kisérleti célú duális funkciójú napelem cella és panel vizsgáló berendezés, GÉPGYÁRTÁSTECHNOLÓGIA 1:(LV), (2015), pp. 79–85.

[76] Kocsis Szürke Szabolcs, Lakatos István: Az elektromos járművekben használatos lítium–polimer akkumulátorok kisütés során fellépő hőmérsékleti hatások vizsgálata. Innováció és fenntartható felszíni közlekedés: IFFK 2015. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2015.10.15–2015.10.16. Budapest: Magyar Mérnökakadémia, 2015. Paper 10. (ISBN:978–963–88875–3–5; 978–963–88875–2–8), (2015).

[77] Peyman Taheri and Majid Bahrami: Temperature Rise in Prismatic Polymer Lithium–Ion Batteries: An Analytic Approach, saepcelec.saejournals.org, 2012–01–0334 Published 04/16/2012 Copyright © 2012 SAE International doi: 10.4271/2012–01–0334 (2012).

[78] Kőházi–Kis Ambrus: Lítium–akkumulátorok vizsgálata In: Bitay Enikő (szerk.) Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIX. Nemzetközi Tudományos Konferencia. 480 p. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2014.03.20–2014.03.21. Kolozsvár: Erdélyi Múzeum–Egyesület, (2014), pp. 245–248.

[79] Kőrös Péter, Szakállas Gábor, Székely János Ádám, Szeli Zoltán: Optimális akkumulátorrendszer fejlesztése villamos hajtású járművek részére „IFFK 2013" Budapest, 2013. augusztus 28–30. (2013).

[80] http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_the_lead_acid_battery

[81] http://www.ti.com/lit/an/snva557/snva557.pdf

[82] Hui, S.Y.R.: A new generation of universal contactless Battery Charging platform for portable Consumer Electronic equipment. Power Electronics, IEEE Transactions on (Volume: 20, Issue: 3 ), (2005), pp. 620–627.

[83] Dr. Varga Sándor: Az ultrahangos tartályszintmérés alapjai:

http://www.nivelco.hu/download/szakmai_forum/VargaS_UH_.pdf

[84] Vikrant Bhor, Pankaj Morajkar, Maheshwar Gurav, Dishant Pandya, Amol Deshpande Smart Garbage Management System, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)ISSN: 2278–0181www.ijert.orgIJERTV4IS031175(This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.)Vol. 4 Issue 03, March–2015 (2015).

[85] Dr. Fazekas István – Orosz Zoltán: A települési szilárdhulladék–gazdálkodás jelenlegi helyzete és várható jövője Magyarországon.

http://geo.science.unideb.hu/taj/dokument/telkonf/dokument/fazekas_i_orosz_z.pdf

[86] www.polyduct.hu (2015.05.13).

[87] B. Hirkó: Approximation of Quasi–Optimal Depot Numbers in Simple Two–Step Delivery Systems. Acta Technica Jaurinensis Series Logistica Vol. 1, No.2, (2008), pp. 209–222.

[88] B. Hirkó: Outsourcing Distribution to a Third Party Logistics Provider Relying Upon Cost Savings Criteria. Acta Technica Jaurinensis Series Logistica Vol. 1, No.2, (2008), pp. 173–191.

[89] Péter, T., Stróbl, A., Bede, Zs., Kalincsák, I., Fazekas, S. (2013) Infokommunikációs technológiák fejlesztése a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok közlekedési folyamatainak komplex modellezéséhez, a valós közlekedési folyamatok vizsgálatára és az

optimális irányítására. Közlekedéstudományi Konferencia, Győr, 2013. március 21–22. Kiadó: Széchenyi István Egyetem, Közlekedési Tanszék. ISBN szám: 978–615–5298–09–7. (2013), pp. 55–81.

[90] http://ec.europa.eu/transport/roadsafety_library/publications/etac_exec_summary.pdf (2016.01.21).

[91] P.J. de Groot, G.J. Postma, W.J. Melssen, L.M.C. Buydens: Validation of remote, on–line, near–infrared measurementsfor the classification of demolition waste. Analytica Chimica Acta 453 (2002), pp. 117–124.

[92] Ferenczy Gábor Zoltán: Internet alapú nyílt információszerzés elvi rendszertechnikai megvalósítása. Doktori (PhD) értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Hadtudományi Doktori Iskola (2007).

[93] www. greenmachines.com (2016.01.12).

# 13. Ábrajegyzék

2.1. ábra Hulladékkezelés prioritási szintje

2.2. ábra Hulladékkezelés folyamatábrája

2.3. ábra Szelektíven gyűjtött anyagok mennyiségének alakulása az évek során

2.4. ábra A vegyesen begyűjtött települési hulladék szabvány szerint mért átlagos összetétele

5.1. ábra Szelektív hulladékgyűjtő edénybe integrált mérő és kommunikációs eszközök

5.2. ábra Rugós, pálcás kivitelű helyzetkapcsoló paraméterekkel

5.3. ábra Helyzetkapcsolók elhelyezése az edényben

5.4. ábra Információközlés folyamatábrája helyzetkapcsoló aktiválása esetén

5.5. ábra Információközlés folyamatábrája 50%–nál jobban telített edény esetén

5.6. ábra Információközlés folyamatábrája az edénybe történő hulladék bedobás száma alapján

5.7. ábra Nyúlásmérő bélyeg tömegméréshez alkalmazva

5.8. ábra Tömegmérő cella adatának lekérdezése „n” darab hulladékbedobás esetén

5.9. ábra Tömegmérés, telítettségjelző és ultrahangos távolságmérővel ellátott rendszer blokkvázlata

5.10. ábra Az „inteligens” edény alkatrészeinek elrendezési terve

5.11. ábra Szelektív hulladékgyűjtő edény telítettségi szintjeinek jelzése

5.12. ábra Real–time alapú infokommunikációs rendszer elemei és jeláramlat

5.13. ábra Rendszerben alkalmazható rövid és hosszútávú kommunikáció kombinációja

5.14. ábra Real–time alapú infokommunikációs rendszer hulladékgyűjtés folyamatábrája (egyszerűsített)

6.1. ábra A megkérdezettek részvétele a szelektív PET palack gyűjtésében

6.2. ábra PET csomagolások térfogat alapú megoszlása lakossági felhasználás alapján

6.3. ábra Szelektív edény telítettsége esetén alkalmazott hulladékelhelyezési módok

6.4. ábra PET palackok tömörítési módjának megoszlása

6.5. ábra Szelektív hulladékgyűjtő edénybe elhelyezett PET palack nyitottságának felmérése

6.6. ábra Szelektív hulladékgyűjtés területen az optimális szintől elmaradó gyűjtési kultúra

7.1. ábra Szelektív hulladékgyűjtő edénybe integrált térfogat– és tömegmérő eszköz

7.2. ábra Kézi tömörítés alkalmazása 1,5L–es PET palackon

7.3. ábra Lábbal történő tömörítés alkalmazása 1,5L–es PET palackon

7.4. ábra PET palack tömörítő egység

7.5. ábra Térfogatcsökkenés szemléltetése az egyes PET palackoknál különböző tömörítés során

7.6. ábra 2,5L–es PET palack vizsgálata

7.7. ábra PET palackok térfogatcsökkenése párhuzamos felületű átmérőben történő összenyomás esetén (diagramban történő megjelenítés)

7.8. ábra 1,5$m^3$szelektív hulladékgyűjtő edény 3D–s terve

7.9. ábra 1,5$m^3$ edény lábbal préselt PET palackkal telítve

7.10. ábra Lábbal préselt PET palackok elhelyezkedése a 1,5$m^3$–es edényben

7.11. ábra Mérőrendszer blokkvázlata

7.12. ábra Különböző térfogatú nyitott és zárt PET palackok tömörítésének erő–elmozdulás diagramja

7.13. ábra 1,5L térfogatú zárt PET palack 70mm összenyomás utáni kirugózott állapota

7.14. ábra 1,5L és 2L térfogatú nyitott PET palackok tömöríthetőségi vizsgálata

7.15. ábra Több darab 1,5L és 2L térfogatú nyitott PET palack tömörítési vizsgálatának eredménye

8.1. ábra Céljárat alkalmazása a begyűjtésre

8.2. ábra Savings módszer alkalmazása a begyűjtésre

8.3. ábra Jármű telítődésének figyelembe vétele

8.4. ábra Útvonal–optimalizálás a jármű kapacitás figyelembe vételével

8.5. ábra Útvonal–optimalizálás a jármű kapacitás figyelembe vételével

8.6. ábra További edények felvétele a begyűjtéshez a járműtelítődés–optimalizálása céljából

8.7. ábra További várható telítődésű edények felvétele a begyűjtéshez

8.8. ábra Begyűjtés során további telített edény felvétele

8.9. ábra Begyűjtés során további telített edény felvétele

8.10. ábra Útvonal–optimalizálás más szolgáltatók által közölt adatok figyelembe vételével

8.11. ábra Emelt szintű hulladékgyűjtés folyamatábrája

9.1. ábra 177 edény begyűjtési terve

9.2. ábra 144 edény begyűjtési terve

9.3. ábra 1. napon történő 155 edény hagyományos begyűjtési terve

9.4. ábra 2. napon történő 152 edény hagyományos begyűjtési terve

9.5. ábra 3. napon történő 149 edény hagyományos begyűjtési terve

9.6. ábra 4. napon történő 148 edény hagyományos begyűjtési terve

9.7. ábra 5. napon történő 153 edény hagyományos begyűjtési terve

9.8. ábra 1. napon történő 151 edény optimalizált begyűjtési terve

9.9. ábra 2. napon történő 89 edény optimalizált begyűjtési terve

9.10. ábra 3. napon történő 121 edény optimalizált begyűjtési terve

9.11. ábra 4. napon történő 121 edény optimalizált begyűjtési terve

9.12. ábra 5. napon történő 129 edény optimalizált begyűjtési terve

10.1. ábra PET palack alkotóelemeinek anyaga

# 14. Táblázatjegyzék

2.1. táblázat Hulladék keletkezésének és kezelésének értékei évek függvényében

4.1. táblázat Real–time alapú infokommunikációs rendszer SWOT analízise

5.1. táblázat Különböző anyagok esetén a 22$m^3$ térfogatú hulladékszállító járműbe üríthető edények (1,1$m^3$) darabszáma

7.1. táblázat 0,5L PET palack főbb paraméterei

7.2. táblázat 1,0L PET palack főbb paraméterei

7.3. táblázat 1,5L PET palack főbb paraméterei

7.4. táblázat 2,0L PET palack főbb paraméterei

7.5. táblázat 2,5L PET palack főbb paraméterei

7.6. táblázat PET palackok paraméterei (táblázatos összefoglalás)

7.7. táblázat PET palackok térfogatcsökkenése párhuzamos felületű átmérőben történő összenyomás esetén

7.8. táblázat Hulladékgyűjtő edény jellemzői különböző tömörítésű PET palackok esetén

8.1. táblázat Az egyes begyűjtések során figyelembe vett szempontok/célok/ feladatok

8.2. táblázat Az egyes begyűjtések során alkalmazott előnyök

9.1. táblázat 5 napos hulladékgyűjtés terve

9.2. táblázat 5 napos hulladékgyűjtés terve optimalizációt alkalmazva

# 15. Mellékletek

Kérdőív

**Szelektív hulladékgyűjtési módok**

**1. Kérem jelölje, hogy PET palack esetén milyen arányban gyűjti szelektíven a hulladékot:**

- ☐ mindig,
- ☐ ritkán,
- ☐ soha.

**2. Kérem jelölje, hogy a termék, amelyet fogyaszt, milyen térfogatú PET palackozású:**

Tisztelettel kérem, hogy szíveskedjen figyelni: az 5 termékre elhelyezett százalék összege = 100%!

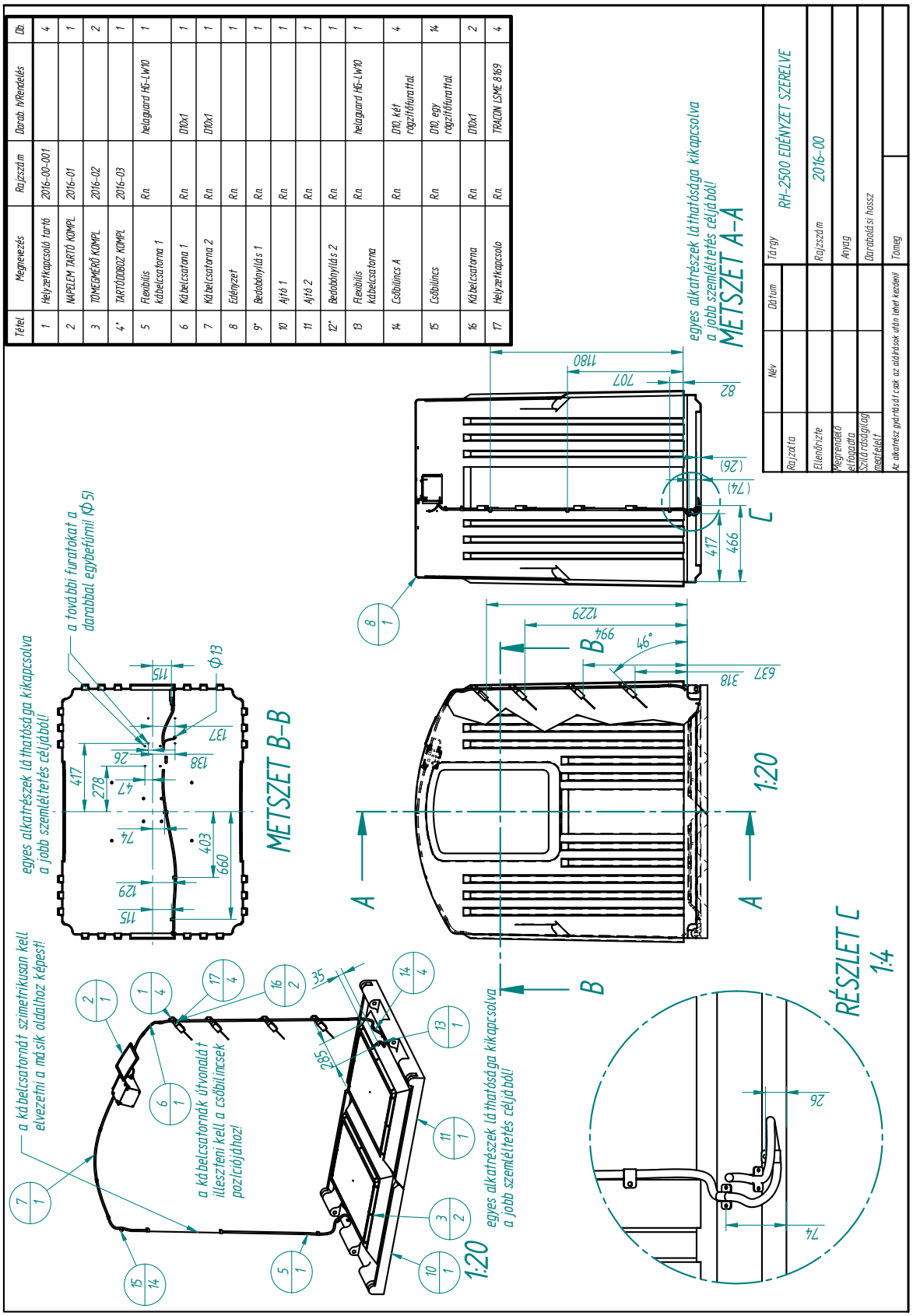
| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,5L | ☐ 0% | ☐ 10% | ☐ 20% | ☐ 30% | ☐ 40% | ☐ 50% | ☐ 60% | ☐ 70% | ☐ 80% | ☐ 90%, |
| 1L | ☐ 0% | ☐ 10% | ☐ 20% | ☐ 30% | ☐ 40% | ☐ 50% | ☐ 60% | ☐ 70% | ☐ 80% | ☐ 90%, |
| 1,5L | ☐ 0% | ☐ 10% | ☐ 20% | ☐ 30% | ☐ 40% | ☐ 50% | ☐ 60% | ☐ 70% | ☐ 80% | ☐ 90%, |
| 2L | ☐ 0% | ☐ 10% | ☐ 20% | ☐ 30% | ☐ 40% | ☐ 50% | ☐ 60% | ☐ 70% | ☐ 80% | ☐ 90%, |
| 2,5L | ☐ 0% | ☐ 10% | ☐ 20% | ☐ 30% | ☐ 40% | ☐ 50% | ☐ 60% | ☐ 70% | ☐ 80% | ☐ 90%. |

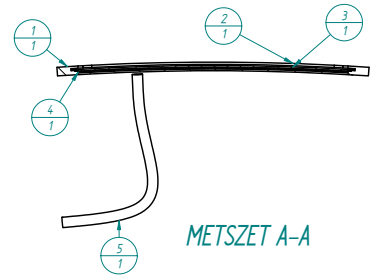
**3. Kérem jelölje, hogy a szelektív hulladékgyűjtő edény telítettsége esetén az edény mellé üríti-e a PET hulladékot:**

- ☐ igen, mert úgy is összeszedik,
- ☐ nem, inkább keresek másik hulladékgyűjtő szigetet üres edénytel,
- ☐ egyéb módon helyezem el a PET palackokat.

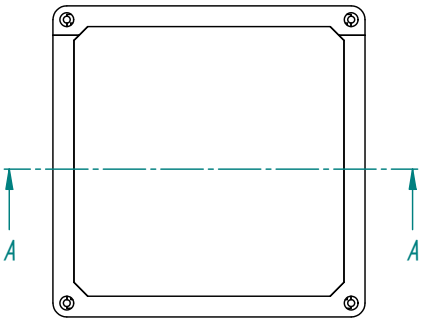
**4. Kérem jelölje, hogy a PET palackot milyen állapotban helyezi a szelektív hulladékgyűjtő edénybe:**

- ☐ ép, tömörítetlen állapotban,
- ☐ kézzel tömörítve,
- ☐ lábbal tömörítve (rálépve).


Tétel | Megnevezés | Rajzszám | Darab. hiRendelés | Db.
1 | Helyzetkapcsoló tartó | 2016-00-001 | | 4
2 | NAPELEM TARTÓ KOMPL | 2016-01 | | 1
3 | TÖMEGMÉRŐ KOMPL | 2016-02 | | 2
4* | TARTÓDOBOZ KOMPL | 2016-03 | | 1
5 | Flexibilis kábelcsatorna 1 | Rn | helaguard HS-LW10 | 1
6 | Kábelcsatorna 1 | Rn | D10x1 | 1
7 | Kábelcsatorna 2 | Rn | D10x1 | 1
8 | Edényzet | Rn | | 1
9* | Bedobónyílás 1 | Rn | | 1
10 | Ajtó 1 | Rn | | 1
11 | Ajtó 2 | Rn | | 1
12* | Bedobónyílás 2 | Rn | | 1
13 | Flexibilis kábelcsatorna | Rn | helaguard HS-LW10 | 1
14 | Csőbilincs A | Rn | D10, két rögzítőfurattal | 4
15 | Csőbilincs | Rn | D10, egy rögzítőfurattal | 14
16 | Kábelcsatorna | Rn | D10x1 | 2
17 | Helyzetkapcsoló | Rn | TRACON LSME 8169 | 4
Név | Dátum | Tárgy: RH-2500 EDÉNYZET SZERELVE
Rajzolta
Ellenőrizte | Rajzszám: 2016-00
Megrendelő elfogadta | Anyag
Szúrásrésdiglúg megtelelt | Darabolási hossz
Az alkatrész gyártását csak az alkatrészek után lehet kezdeni | Tömeg
a kábelcsatornát szimetrikusan kell elvezetni a másik oldalhoz képest!
a kábelcsatornák útvonalát illeszteni kell a csőbilincsek pozíciójához!
egyes alkatrészek láthatóságának kikapcsolva a jobb szemléltetés céljából!
a további furatokat a darabbal egyberúrni! Φ5!
egyes alkatrészek láthatóságának kikapcsolva a jobb szemléltetés céljából!
METSZET B-B
METSZET A-A
RÉSZLET C
1:20
1:4
A
B
C
Φ13
1180
707
82
(26)
(74)
417
466
1229
994
46°
637
318
285
35
26
74
115
137
138
26
47
278
403
660
129




METSZET A–A

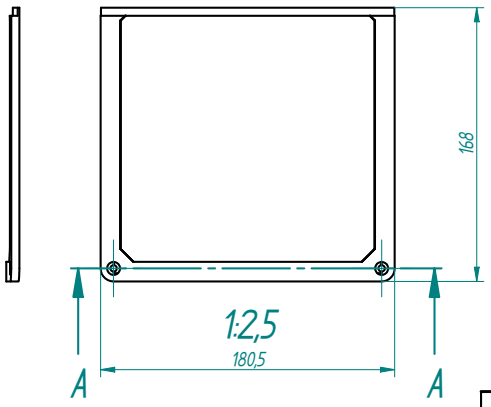



1:1,67

| Tétel | Megnevezés | Rajzszám | Db |
|---|---|---|---|
| 1 | Napelem tartó alsó | 2016-01-001 | 1 |
| 2 | Napelem tartó felső | 2016-01-002 | 1 |
| 3 | Napelem védő | 2016-01-003 | 1 |
| 4 | Napelem | Rn | 1 |
| 5 | Napelem vezeték | Rn | 1 |

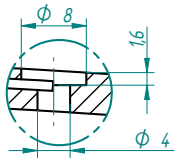
| | Név | Dátum | Tárgy: NAPELEM TARTÓ KOMPL. |
|---|---|---|---|
| Rajzolta | | | |
| Ellenőrizte | | | Rajzszám: 2016-01 |
| Megrendelő elfogadta | | | Anyag |
| Szilárdságilag megfelelt | | | Darabolási hossz |
| Az alkatrész gyártását csak az aláírások után lehet kezdeni | | | Tömeg |

METSZET A–A




1:2,5

180,5

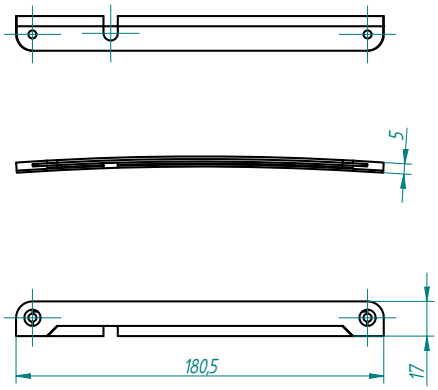



RÉSZLET B

2:1

***Az alkatrész műanyag-fröccsöntésel készül a model alapján.***
***A rajzok és méretek tájékoztató jellegűek!***

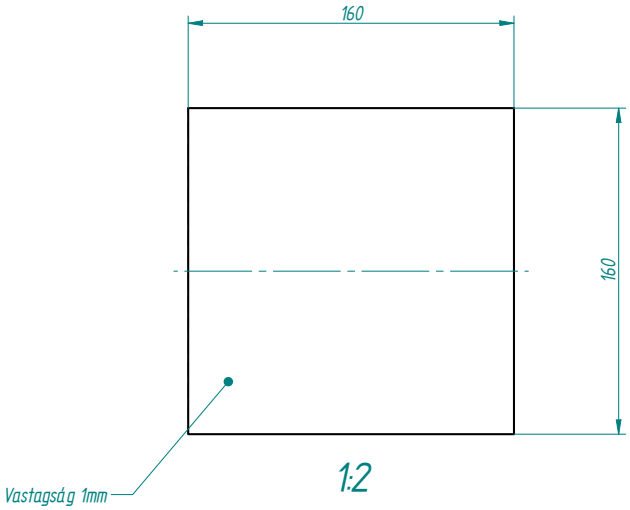
| | Név | Dátum | Tárgy: Napelem tartó alsó |
|---|---|---|---|
| Rajzolta | | 2016.02.17. | |
| Ellenőrizte | | | Rajzszám: 2016-01-001 |
| Megrendelő elfogadta | | | Anyag: PA |
| Szilárdságilag megfelelt | | | Darabolási hossz |
| Az alkatrész gyártását csak az aláírások után lehet kezdeni | | | Tömeg: 0,055 kg |




1:2

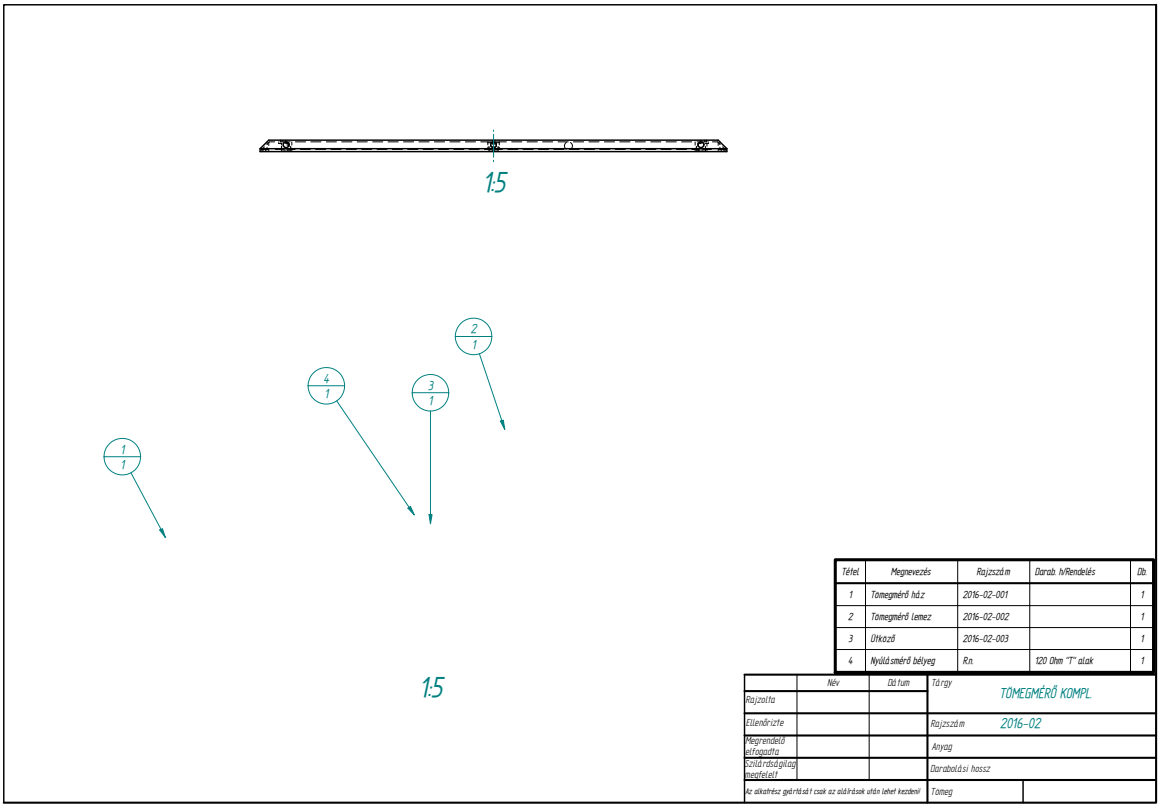
***Az alkatrész műanyag-fröccsöntésel készül a model alapján.***
***A rajzok és méretek tájékoztató jellegűek!***

| | Név | Dátum | Tárgy: Napelem tartó felső |
|---|---|---|---|
| Rajzolta | | 2016.02.17. | |
| Ellenőrizte | | | Rajzszám: 2016-01-002 |
| Megrendelő elfogadta | | | Anyag: PA |
| Szilárdságilag megfelelt | | | Darabolási hossz: |
| Az alkatrész gyártását csak az aláírások után lehet kezdeni! | | | Tömeg: 0,009 kg |



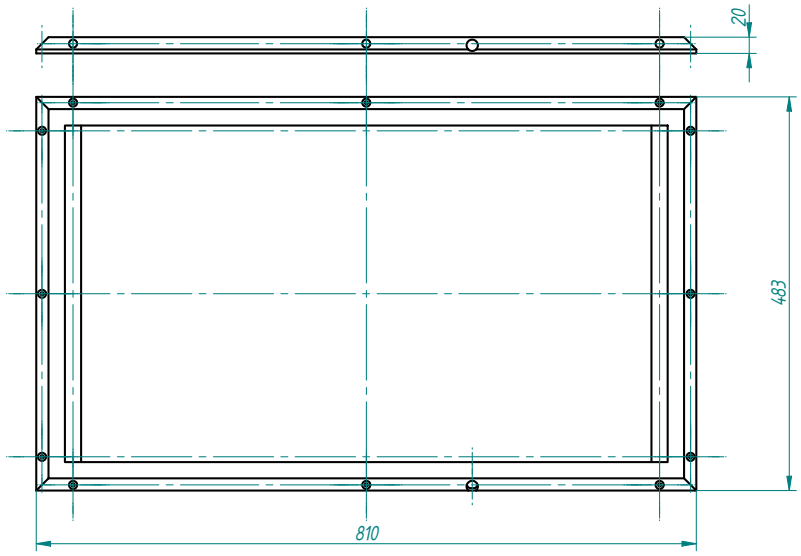

1:2

| | Név | Dátum | Tárgy: Napelem védő |
|---|---|---|---|
| Rajzolta | | 2016.04.18. | |
| Ellenőrizte | | | Rajzszám: 2016-01-003 |
| Megrendelő elfogadta | | | Anyag: PC |
| Szilárdságilag megfelelt | | | Darabolási hossz: |
| Az alkatrész gyártását csak az aláírások után lehet kezdeni! | | | Tömeg: 0,030 kg |



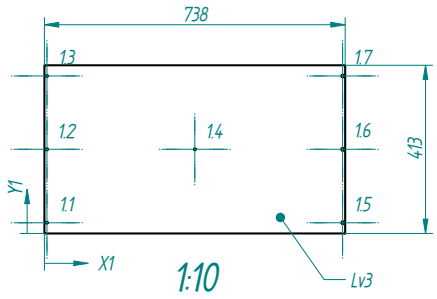

| Tétel | Megnevezés | Rajzszám | Darab hiRendelés | Db |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Tömegmérő ház | 2016-02-001 | | 1 |
| 2 | Tömegmérő lemez | 2016-02-002 | | 1 |
| 3 | Ütköző | 2016-02-003 | | 1 |
| 4 | Nyúlásmérő bélyeg | Rn | 120 Ohm "T" alak | 1 |

| | Név | Dátum | Tárgy: TÖMEGMÉRŐ KOMPL. |
|---|---|---|---|
| Rajzolta | | | |
| Ellenőrizte | | | Rajzszám: 2016-02 |
| Megrendelő elfogadta | | | Anyag: |
| Szilárdságilag megfelelt | | | Darabolási hossz: |
| Az alkatrész gyártását csak az aláírások után lehet kezdeni | | | Tömeg: |




***Az alkatrész műanyag-fröccsöntésel készül a model alapján. A rajzok és méretek tájékoztató jellegűek!***

| | Név | Dátum | Tárgy: Tömegmérő ház |
|---|---|---|---|
| Rajzolta | | 2016.02.17. | |
| Ellenőrizte | | | Rajzszám: 2016-02-001 |
| Megrendelő elfogadta | | | Anyag: PA |
| Szilárdságilag megfelelt | | | Darabolási hossz: |
| Az alkatrész gyártását csak az aláírások után lehet kezdeni | | | Tömeg: 0,460 kg |

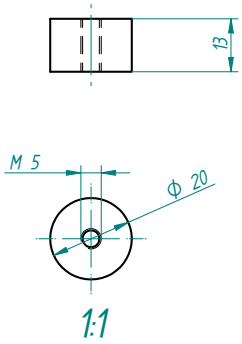



| Furattábla | | | |
|---|---|---|---|
| Furat | X | Y | Méret |
| 1.1 | 6 | 26,5 | Ø 5 |
| 1.2 | 6 | 206,5 | Ø 5 |
| 1.3 | 6 | 386,5 | Ø 5 |
| 1.4 | 369 | 206,5 | Ø 5 |
| 1.5 | 732 | 26,5 | Ø 7 |
| 1.6 | 732 | 206,5 | Ø 7 |
| 1.7 | 732 | 386,5 | Ø 7 |

3,2

Nem jelölt élek sorjázva!

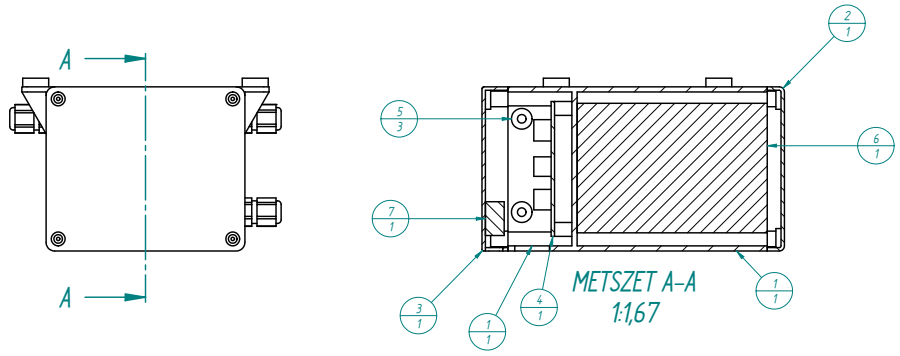
| | Név | Dátum | Tárgy: Tömegmérő lemez |
|---|---|---|---|
| Rajzolta | | 2016.02.17. | |
| Ellenőrizte | | | Rajzszám: 2016-02-002 |
| Megrendelő elfogadta | | | Anyag: S235J2G3 (1.0116) |
| Szilárdságilag megfelelt | | | Darabolási hossz |
| Az alkatrész gyártását csak az aláírások után lehet kezdeni! | | | Tömeg: 7,173 kg |




3,2

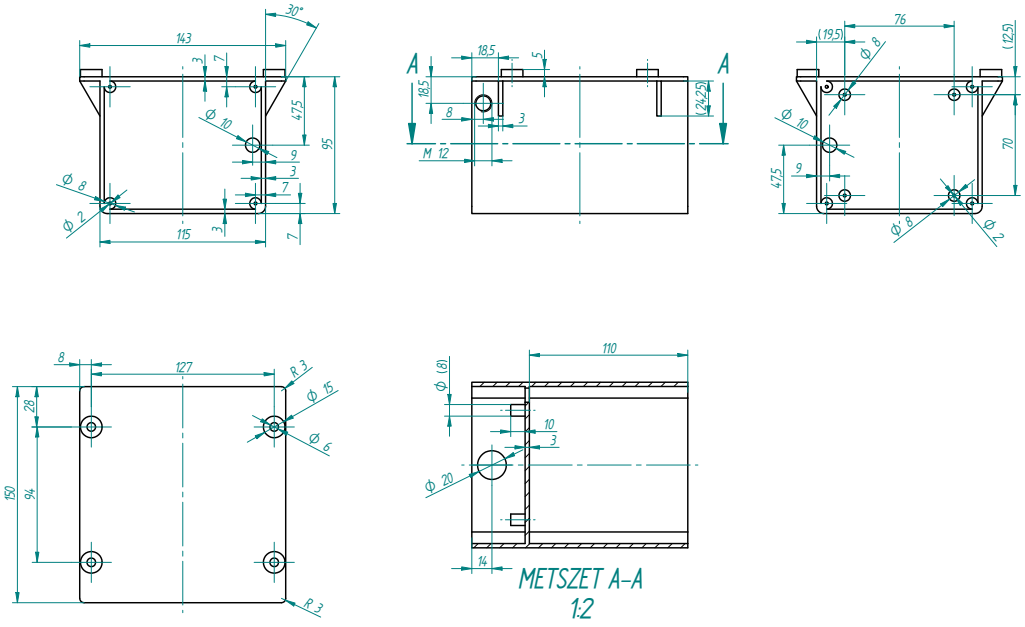
Nem jelölt élek sorjázva!

| | Név | Dátum | Tárgy: Ütköző |
|---|---|---|---|
| Rajzolta | | 2016.02.17. | |
| Ellenőrizte | | | Rajzszám: 2016-02-003 |
| Megrendelő elfogadta | | | Anyag: PA |
| Szilárdságilag megfelelt | | | Darabolási hossz |
| Az alkatrész gyártását csak az aláírások után lehet kezdeni! | | | Tömeg: 0,003 kg |

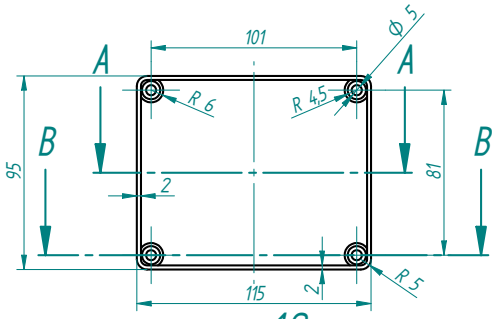



| Tétel | Megnevezés | Rajzszám | Darab. hiRendelés | Db. |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Tartódoboz | 2016-03-001 | | 1 |
| 2 | Fedél | 2016-03-002 | | 1 |
| 3 | Fedél 1 | 2016-03-003 | | 1 |
| 4 | Elektronika | R.n. | | 1 |
| 5 | M12 tömszelence | R.n. | Hummel 1.209.1200.50 | 3 |
| 6 | Akkumulátor | R.n. | UL4-12 | 1 |
| 7 | Ultrahangos érzékelő | R.n. | BALLUFF BOS012C | 1 |

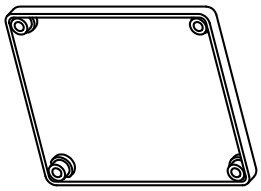
| | Név | Dátum | Tárgy: TARTÓDOBOZ KOMPL |
|---|---|---|---|
| Rajzolta | | | |
| Ellenőrizte | | | Rajzszám: 2016-03 |
| Megrendelő elfogadta | | | Anyag: |
| Szilárdságilag megfelelt | | | Daraboldási hossz: |
| Az alkatrész gyártását csak az aláírások után lehet kezdeni | | | Tömeg: |




| | Név | Dátum | Tárgy: Tartódoboz |
|---|---|---|---|
| Rajzolta | | 2016.02.17. | |
| Ellenőrizte | | | Rajzszám: 2016-03-001 |
| Megrendelő elfogadta | | | Anyag: PA |
| Szilárdságilag megfelelt | | | Daraboldási hossz: |
| Az alkatrész gyártását csak az aláírások után lehet kezdeni | | | Tömeg: 0,229 kg |




1:2

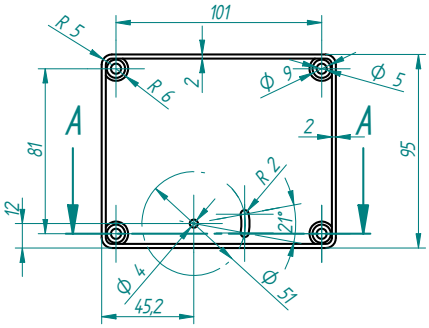


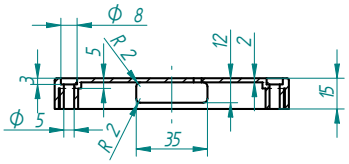
1:2

METSZET A–A

METSZET B–B

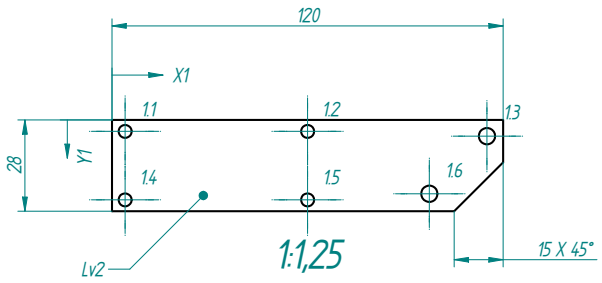
| | Név | Dátum | Tárgy: Fedél |
|---|---|---|---|
| Rajzolta | | 2016.02.17. | |
| Ellenőrizte | | | Rajzszám: 2016–03–002 |
| Megrendelő elfogadta | | | Anyag: PA |
| Szilárdságilag megfelelt | | | Darabolási hossz |
| Az alkatrész gyártását csak az aláírások után lehet kezdeni! | | | Tömeg: 0,026 kg |




METSZET A–A
1:2

| | Név | Dátum | Tárgy: Fedél 1 |
|---|---|---|---|
| Rajzolta | | 2016.02.17. | |
| Ellenőrizte | | | Rajzszám: 2016–03–003 |
| Megrendelő elfogadta | | | Anyag: PA |
| Szilárdságilag megfelelt | | | Darabolási hossz |
| Az alkatrész gyártását csak az aláírások után lehet kezdeni! | | | Tömeg: 0,030 kg |




| Furattábla | | | |
|---|---|---|---|
| Furat | X | Y | Méret |
| 1.1 | 4 | -3,5 | ϕ 4 |
| 1.2 | 60 | -3,5 | ϕ 4 |
| 1.3 | 115,05 | -4,95 | ϕ 5 |
| 1.4 | 4 | -24,5 | ϕ 4 |
| 1.5 | 60 | -24,5 | ϕ 4 |
| 1.6 | 97,37 | -22,63 | ϕ 5 |

3,2

Nem jelölt élek sorjázva!

| | Név | Dátum | Tárgy: Helyzetkapcsoló tartó |
|---|---|---|---|
| Rajzolta | | 2016.02.17. | |
| Ellenőrizte | | | Rajzszám: 2016-00-001 |
| Megrendelő elfogadta | | | Anyag: AlMgSi0,5 |
| Szilárdságilag megfelelt | | | Darabolási hossz |
| Az alkatrész gyártását csak az aláírások után lehet kezdeni! | | | Tömeg: 0,017 kg |