



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszék

A BME HULLADÉKGYŰJTŐ RENDSZERÉNEK VIZSGÁLATA

Tompa Tamás
EW1RPT

2023. 11. 07.

Tartalomjegyzék

Kivonat.....	3
1. Irodalmi összefoglaló.....	4
1.1. Mennyiségi adatok.....	4
1.2. Hulladéktípusok.....	6
1.3. Hulladékkezelési filozófiák.....	7
1.4. A hulladékok körforgása.....	9
2. Elvégzendő mérések.....	10
2.1. A mérés helyszíne.....	10
2.2. Az alkalmazott módszertan.....	13
3. A mérések megvalósítása.....	14
4. Kiértékelés.....	15
5. Modellalkotás.....	21
5.1. A modell leírása.....	21
5.2. Lineáris programozás.....	22
6. Kitekintés.....	26
Felhasznált irodalom.....	27

Kivonat

Jelen munka a hulladékgyűjtés témakörével foglalkozik, mely az újrahasznosítás egyik alappilléret képezi. Ennek folyamataihoz járul hozzá a hulladék kategóriákra bontása és szelektív gyűjtése, mely a BME kampuszán is megfigyelhető – minden épületben találhatóak a műanyag-, a papír-, valamint a vegyeshulladék gyűjtésére kijelölt, speciálisan különválasztási célra kialakított kartondobozok. A kutatás során az egyetem területén, a központi „K” épület egyes emeleteire koncentrálna az egységes hulladékgyűjtő dobozok számának, elhelyezkedésének és kihasználtságának vizsgálatát, számszerű meghatározását valósítom meg, az elvégzett mérések adatait felhasználva pedig az eddigi tanulmányaim során elsajátított multimoment-módszert alkalmazva végzek számításokat. A projekt eredményeként a tárgyalt logisztikai szempontok mellett egyéb megfontolásokat is figyelembe véve teszek javaslatot a gyűjtés módszereinek módosítására, fejlesztésére; ehhez gráfok segítségével modellezem a vizsgált területeket, majd lineáris optimalizálási feladatként tekintek a problémára.

1. Irodalmi összefoglaló

A hulladékgazdálkodás témaköre egyre több figyelmet kap világszerte, hiszen minden fejlődő társadalomnak szüksége van hulladékkezelő rendszerekre – a különféle elhasznált anyagok, tárgyak szorosan kapcsolódnak modern életvitelünkhöz. Így a hulladékok kezelése jelentős társadalmi szereppel bír: egy város esetében az ehhez kapcsolódó feladatok megfelelő elvégzése befolyásolhatja a közlekedés, az egészségügy és az oktatás működését is [1]. A jelenleg rendelkezésre álló adatokat felhasználva a világszerte, az Európai Unió (EU) szintjén, illetve az ország területén keletkező hulladékmennyiségeket az 1.1. alfejezetben mutatom be.

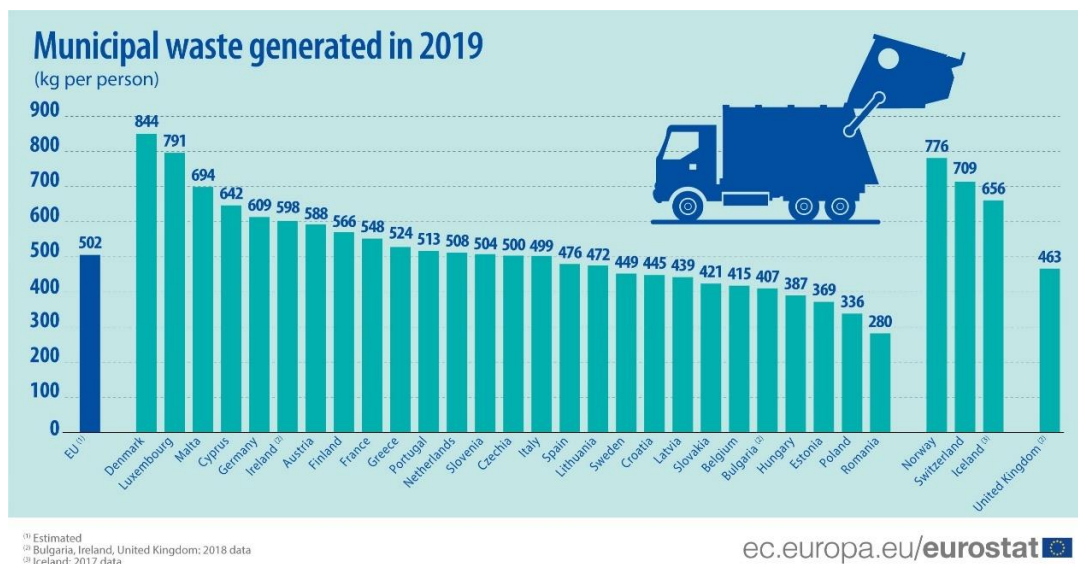
A „hulladék” fogalmának körülhatárolása azonban nem minden esetben egyértelmű, többféle értelmezésével is találkozhatunk. Az Európai Bizottság [3] és a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) hasonló definíciót alkalmaz: a KSH információihoz igazodva „a keletkezett hulladék alatt egy adott állam területén képződő bármely anyag vagy tárgyak összességét értjük, amely(ek)től birtokosa megválnak, megválni szándékozik, vagy megválni köteles (2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról)” [3].

Emellett az „újrahasználás” és az „újrahasznosítás” megkülönböztetése is kérdéseket vet fel, a köznyelvben szintén gyakran megjelenő „szemét” kifejezés pedig utalhat a lakossági, az ipari vagy egyéb jellegű hulladékokra is. Mivel a dolgozatban az egyértelmű fogalomhasználat céljából nagy hangsúly kerül ezek kategorizálásának fontosságára, az ide kapcsolódó kifejezések pontosabb körülhatárolása elengedhetetlen – így a témakört az 1.2. alfejezetben tárgyalom.

1.1. Mennyiségi adatok

A hulladékok fontosságának egyik oka lehet, hogy majdnem minden lakott területen keletkeznek, így kezelésük általában jelentős energiákat igényel. 2012-ben világszerte körülbelül 3 milliárd fő élt városokban, közülük egy fő átlagosan 1,2 kg hulladékot termelt naponta, ami összesen 1,3 milliárd tonnát jelent évente [1].

Az Eurostat 2021 februárban közölt adataihoz igazodva – csak az EU területét vizsgálva – közel 225 millió tonna lakossági hulladék keletkezett 2019-ben, mely egy főre bontva 502 kilogrammot jelent (az egyes országokhoz rendelt mennyiségeket az 1. ábra mutatja be). Bár az EU területén keletkező mennyiség az 1995-ben feljegyzett adatokhoz viszonyítva 2019-re megnőtt, az ebben az évben lerakásra kerülő hulladékok volumene kevesebb mint fele volt a korábbinak, emellett pedig jelentősen több anyag is került újrahasznosításra [4]. A megfigyelt tendenciák háttérben több folyamat is állhat: az újrahasznosítás például napjainkban gyakran tárgyalt témává, fogalma pedig a köztudat részévé vált.



1. ábra: Egy főre jutó lakossági hulladék, 2019 [4]

A Magyarország területére vonatkozó adatot a KSH által kibocsátott kimutatások is megerősítik: az adatbázisuk szerint 2019-ben egy fő átlagosan 387 kilogramm települési hulladékot „termelt” [3], ami – bár mint az 1. ábrán is látható, az Európai Unió országai között nem kiemelkedő mennyiség – itt is jelentős hulladékkezelési folyamatok megszervezését tette, és teszi napjainkban is szükségessé.

Fontos megemlíteni, hogy Magyarország hulladékkezelése 2023-ban jelentős változáson esik át: a MOHU MOL Hulladékgazdálkodási Zrt. (MOHU) 35 évre szóló állami koncessziót nyert, így az ország hulladékgazdálkodásának szervezése a meghatározott időre a cég feladata lesz. Információik alapján céljuk a kapcsolódó folyamatok centralizálása és fejlesztése, melynek háttérében állhat, hogy adataik szerint jelenleg a feldolgozatlanul maradó, így lerakásra kerülő hulladékok jelentős részét (mintegy 60 százalékát) teszik ki az összes keletkező hulladéknak [5]. További célként jelölik meg az újrafeldolgozás arányának növelését a jelenlegi 32 százalékról 65-re, tevékenységeiket pedig 2050-re karbonsemlegessé kívánják tenni [5].

A vállalat leírása szerint a MOL a hulladékkezelés folyamataiban – a külső források mellett – saját felhasznált anyagaik útján is tapasztalatot szerezhetett. Jelenleg 1000 saját hulladékgyűjtőhellyel rendelkeznek, és évi 500 ezer gumibroncsot hasznosítanak újra, melyekből zalaegerszegi üzemükben útalapanyagot gyártanak [6].

Emellett a töltőállomásaikon használt sütőolajat gyűjtönek, melyből később alapanyag készülhet: ennek előállításához a MOL-csoport a Rossi Biofuel Zrt.-vel közösen biodízelgyártó üzemet épített Komáromban, amit 2022-ben avattak fel. Az üzem kapacitása évi 50000 tonna biodízel, az itt keletkező alapanyagot pedig a MOL két finomítójában gázolaj készítésére használják fel [7]. A cégcsoport emellett két hulladékfeldolgozó-üzemet és két depóniát üzemeltet, valamint évente 100-120 ezer tonnányi saját hulladékkal gazdálkodik [6].

1.2. Hulladéktípusok

Az előző alfejezetben felsorolt mennyiségekhez logisztikai folyamatoknak, ezekhez pedig kiterjedt infrastruktúrának kell kapcsolódnia, amelynek megtervezéséhez és üzemeltetéséhez fontos a kezelt hulladékok ismerete. A hulladékok értékelésének megvalósításához különböző szempontok figyelembevételével kategóriákba sorolhatjuk őket: megvizsgálhatjuk például a hulladékká válás okát, a keletkezés körülményeit vagy az anyagi tulajdonságokat is.

Többek között ez utóbbi szempont alapján kategorizálja például a BKM Budapesti Közművek Nonprofit Zártkörűen Működő Részvénytársaság (BKM) tagja, az FKF Hulladékgazdálkodási Divízió (FKF) a gyűjtött hulladékokat (2. ábra), melyeket speciálisan kialakított hulladékudvarokban fogadnak [8].



HULLADÉKFAJTA	Példák, magyarázatok
Műanyag csomagolási hulladék	PET palackok, műanyag flakonok, nejlon fóliák
Fém csomagolási hulladék	konzerves, sörös, üdítős fém dobozok
Papír (vegyes)	minden háztartásban előforduló tiszta papír
Ítaltos karton (tetrapak)	tejtes, gyümölcsleves italcsomagoló karton dobozok
Színes csomagolási üveg (palackok)	boros- pezsgős, egyéb italtos öblösüvegek
Fehér csomagolási üveg (palackok)	italos, befőttés, savanyúságos öblösüvegek
Hungarocell (tisztá fehér)	műszaki cikkek védőcsomagolása
Elemek, hordozható kisakkumulátorok	szárazelemek és mindenféle kisakkumulátor cellák
Gépjárműindító akkumulátor	savas indítóakkumulátorok
Elektronikai hulladék	számítógép, televízió, monitor, mobiltelefon stb.
Elektromos hulladék	hűtőszekrény, mosógép, porszívó, barkácsológép, kerti gép stb.
Fénycső, világítótest, izzó	minden világítótest
Fáradt olaj és göngyölege	gépkocsi fáradt olaja és annak használt flakonja
Étolaj és göngyölege	konyhai használt olaj és annak flakonja
Napelemek	kizárólag lakossági mennyiségben (2-3 tábla)
Használtruha	minden tiszta ruhanemű
Építési, bontási törmelék (sitt)	veszélyes hulladékot nem tartalmazó beton, téglák, cserép, kerámia
Festék-hulladék és göngyölege	vízbázisú és oldószerbázisú festékek, lakkok, ragasztók stb.
Gumiabroncs-hulladék (gépkocsi)	csak személyautó, illetve kisteherautó
Lom (nagydarabos hulladék)	veszélyes hulladékot nem tartalmazó lom
Toner (nyomtató)	veszélyes anyagokat tartalmazó, hulladékká vált toner
Olajszűrők (gépkocsi)	Jól lezártan, csomagoltan beszállítva
Fékfolyadék (gépkocsi)	Jól lezártan, csomagoltan beszállítva
Fagyálló folyadék (gépkocsi)	Jól lezártan, csomagoltan beszállítva
Növényvédő szerek	Jól lezártan, csomagoltan beszállítva
Szóróspray csomagolási hulladék	
Veszélyes mosó és tisztítószer	Jól lezártan, csomagoltan beszállítva.

2. ábra: Az FKF udvarain leadható hulladéktípusok (részlet) [8]

A hulladékudvarokon való fogadás (hulladékleadás) csak egy a sok gyűjtési mód közül. A gyűjtés megvalósulhat „House-to-House” elven is, ekkor a begyűjtő egyesével látogatja a hulladéktermelőket. Egy további módszer a közösségi gyűjtőládák használata, melyek „szigetekként” üzemelhetnek egyes körzetekben, ebben az esetben a begyűjtők adott menetrend szerint végezhetik az ürítést. Megemlítendő még a szerződéses hulladékelszállítás, melyet magáncégek is végezhetnek – itt gyakran nagyobb szervezetek megrendelésére zajlik a gyűjtés [1].

A korábban említett csoportosítás megvalósításához használható az „European Waste Catalogue” (EWC) is, mely 2000-ben született. A katalógus több szempont szerint vizsgálva 20 főcsoportra osztja a különböző hulladéktípusokat, ezeken belül pedig alcsoportokat definiál. Itt minden elemet (hulladéktípust) egy hatszámjegyű kód jelöl, a veszélyesnek ítélt anyagokat pedig a számjegyek után elhelyezett csillag emeli ki [9]. A katalógus összesen 841 különböző EWC-kódot tart nyilván [10].

1.3. Hulladékkezelési filozófiák

A megfelelő hulladékkezelés szükségességére több történelmi esemény is rávilágít. Ilyen például a Magyarország területén történt, elsősorban Kolontár települését és környékét érintő vörösiszap-katasztrófa, mely 10 halálesetet, 120 súlyos sérülést és nagymértékű gazdasági-természeti károkat okozott [11]. Egy másik, történelmi példa az amerikai „Love Canal” területének története, mely építőipari beruházásként, egy közösség létrehozásának céljával indult, majd ipari- és lakosságihulladék-temetővé vált. Itt földdel borították be az eredetileg építkezési célokra szánt területet, ami – a nem megfelelő hulladékkezelés okán – később annyi problémát okozott (például születési rendellenességeket), hogy szövetségi pénzügyi alap jött létre a károsultak segítése és a terület rehabilitációja érdekében [12].

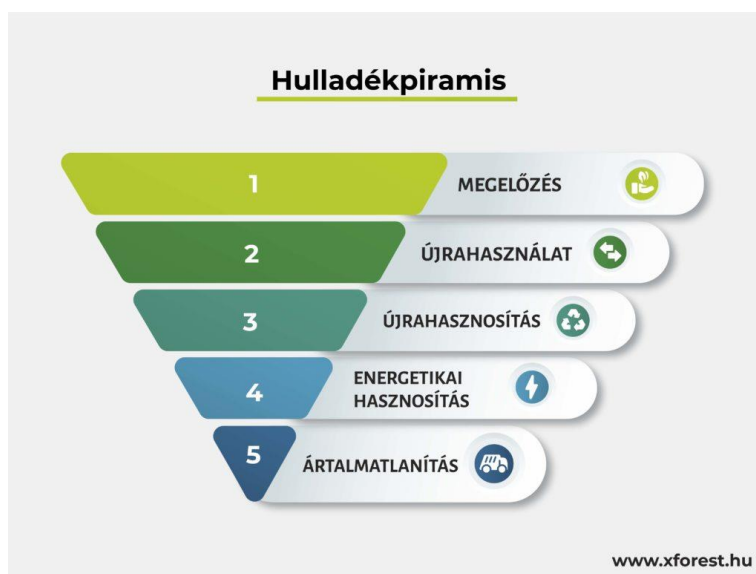
A kezelés módja és minősége nem csak a katasztrófák elkerülése miatt lehet fontos: az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) minden évben jelentést készít környezetvédelmi tevékenységeiről (United Nations Environment Programme – UNEP), a szervezet adatai szerint pedig 2019-ben a világszerte eladott élelmiszerek 17 százaléka hulladékká vált, ezzel nagyban hozzájárulva az üvegházhatású gázok kibocsátásához az évben [13]. Ahogy a fent leírtak is mutatják, a hulladékok megfelelő kezelése a modern társadalmakban kiemelt körültekintést és figyelmet igénylő logisztikai feladatot jelent, és elengedhetetlen a különböző szennyezések és katasztrófák megelőzéséhez.

A feladatra több elképzelés is megoldást kínál: ilyen például a „három R” filozófiája, mely a *Reduce* (csökkenteni), *Reuse* (újrahasználni) és *Recycle* (újrahasznosítani) szavak kezdőbetűiből áll össze (3. ábra). Ennek alapvető üzenete, hogy csak olyan dolgokat vásároljunk, amelyekre szükségünk van, ezzel megelőzve a többlethulladék keletkezését. Ha mégis beszereznénk valamit, keressük használtan az új termék vásárlása helyett, vagy találjunk ki alternatív megoldásokat. A kidobásra ítélt tárgyak esetén pedig tegyünk azért, hogy azok újrahasznosításra kerüljenek a lerakás helyett [14].



3. ábra: A „három R” elterjedt ábrázolása az újrahasznosítás jelképével [15]

A „három R” filozófiája mellett elterjedt a „hulladékpiramis” (4. ábra) használata is, melynek több verziója is létezik. A piramis hierarchiát jelképez, melyben a legkedvezőbb szint a „megelőzés”, az alatta elhelyezkedők pedig – az ábrán a sorszám növekedésével – kevésbé preferált, elkerülendő megoldásoknak számítanak [2].



4. ábra: A hulladékpiramis egy verziója [16]

A modell alkalmazása egyszerűnek tűnhet, azonban a gyakorlatban az alsó szintek kihasználása is gyakran szükségessé válik. Az egyes szintek értelmezése verzióként változhat, ezért különböző források felhasználásával kísérlek meg átfogó képet alkotni a koncepcióról.

Az első szint a megelőzés – ez olyan módszereket takar, melyek segítségével a hulladék keletkezése nem valósul meg [17], ilyen lehet például a felesleges vásárlások elkerülése. Az újrahasználat alapját ezzel ellentétben olyan gondolkodásmód képezi, mely az „elhasználtnak” tekintett tárgyakat, eszközöket újraértékeli, és új alkalmazási módokat keres nekik, új funkciók ellátására használja fel őket [14]. A következő szint az újrahasznosítás, mely rendkívül összetett, több tudományterületen átívelő folyamatot jelenthet. Összetettségének több oka is lehet: az újrahasznosítható anyagok palettája korlátos, gyűjtésük pedig körülményes. A lakossági szinten gyűjtött hulladékok

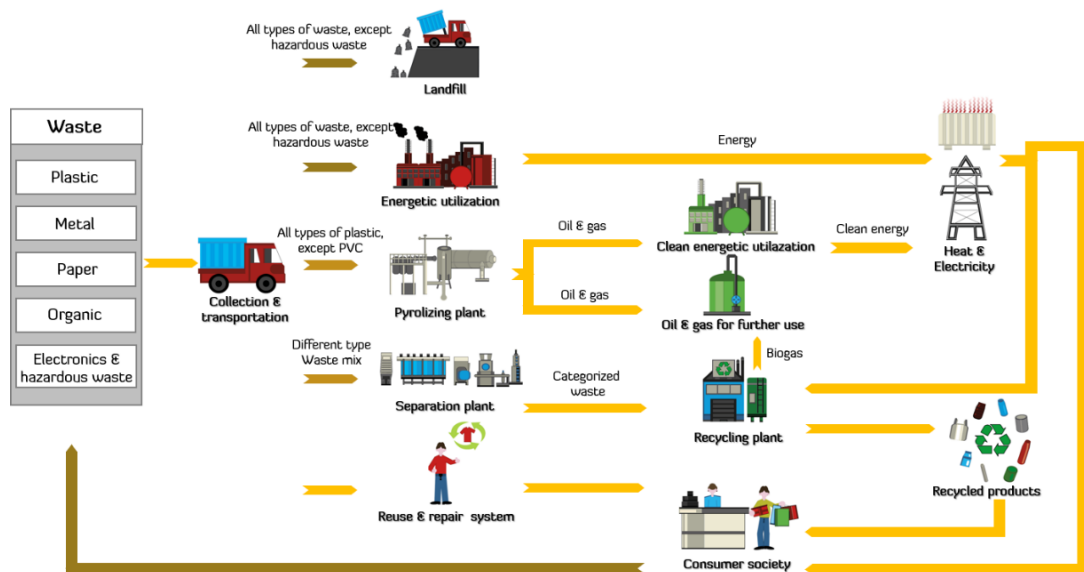
szennyezettsége, összetételének változó minősége tisztítási és szétválogatási feladatokat igényel, melyek megvalósításához külön infrastruktúrára van szükség, így ezekre a folyamatokra teljes iparágak épülnek. Az FKF információihoz igazodva az újrahasznosítás eredményeként „másodlagos nyersanyag” keletkezik, mely ezután piacon értékesíthető [18].

A piramis következő szintjét az energetikai hasznosítás képezi, mely általában égetést jelent – ehhez erőmű szükséges, amire hazai példa a Fővárosi Hulladékhasznosító Mű (HUHA), amely villamos energiát, valamint távhőt állít elő a hulladékok felhasználásával [18].

1.4. A hulladékok körforgása

A hulladékokkal kapcsolatos mérések megkezdése előtt fontos megfelelő kontextusba helyezni a tárgyalt anyagokat és folyamatokat. Az ilyen jellegű folyamatszemlélet a logisztika minden területén megjelenik, ez a gondolkodásmód segíthet abban, hogy átfogó képet kapjunk az általunk vizsgált rendszerek működéséről, valamint megfelelő ismeretekre tegyünk szert az egyes komponensek által elfoglalt helyekről.

Ehhez megvizsgálhatjuk a különböző típusú hulladékok lehetséges útjait (5. ábra), és sorra vehetjük a napjainkban jellemzően alkalmazott kezelési módszereket [19].



5. ábra: A hulladékkörforgás [19]

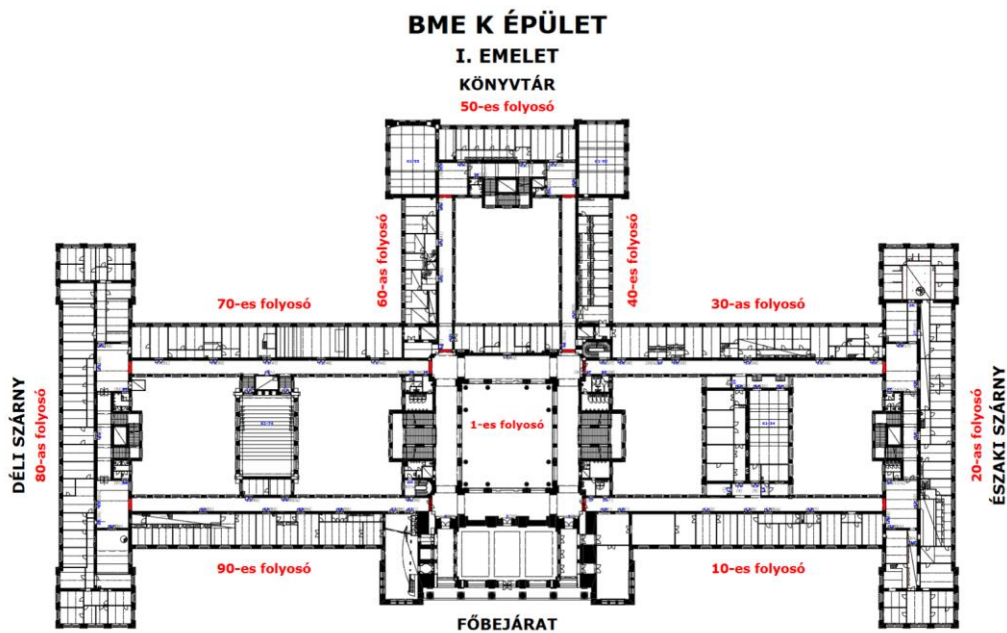
A szemléltető ábrán kiemelve szerepel a pirolízis folyamata, ami a műanyagok energetikai hasznosításának fontos eleme lehet. Emellett a válogatás és újrahasznosítás, a javítás, égetés, valamint a depóniában való elhelyezés is megjelenik.

2. Elvégzendő mérések

A jelenállapot feltérképezésének részeként méréseket szükséges végezni – az így kapott adatokat kiértékelve tehető javaslat a vizsgált rendszer fejlesztésére.

2.1. A mérés helyszíne

A dolgozat témája az egyetem hulladékgyűjtő rendszere, a méréseket – a rendelkezésre álló erőforrások figyelembevételével – egy kiemelt területen, a központi „K” épület két emeletén végzem, ezek közül az egyiket a 6. ábra szemlélteti. A fejezet során bemutatom a folyamat vázlatos leírását, valamint az előzetes felmérés eredményeit.



6. ábra: A BME központi épületének alaprajza (1. emelet) [20]

Az egyetem területén (hasonlóan más intézményekhez) a közelmúltban Recobin márkájú hulladékgyűjtő dobozok kerültek kihelyezésre. A dobozok erősített, ötrétegű újrahasznosított kartonból készülnek, térfogatuk 50 liter, kiterjedésük pedig 30x30x60 cm [21]. A cég leírása szerint „A Recobin rendelkezik kifejezetten felsőoktatási intézmények számára kidolgozott intézményi szelektív hulladékgyűjtési koncepcióval, amely szabadon felhasználható bármely intézményi környezetre az ország bármely területén. Mintaprojekteink közé tartozik a Budapesti Műszaki Egyetem, valamint a Budapest Gazdasági Egyetem komplett szelektív hulladékgyűjtésének kialakítása” [21].

Az itt kihelyezett dobozokon többféle fedél is elhelyezhető: a sárga a műanyag-, a kék a papír-, a fekete pedig a vegyeshulladékot jelenti (7. ábra). A különböző hulladékokhoz eltérő fedélnyílás tartozik (8. ábra) – ennek oka a hulladékok jellemző alakja lehet.

A BME-n ezekbe a dobozokba műanyagzacskók kerülnek, hasonlóan bármely másik kukához. Ezek a zacskók védik a kartont a szennyeződésektől és könnyen üríthetővé teszik őket, felmerülhet azonban a kérdés, hogy a gyűjtők anyaga megfelelő-e a feladatra, ha azok csak a kiegészítő zacskóval együtt használhatóak rendeltetésszerűen.



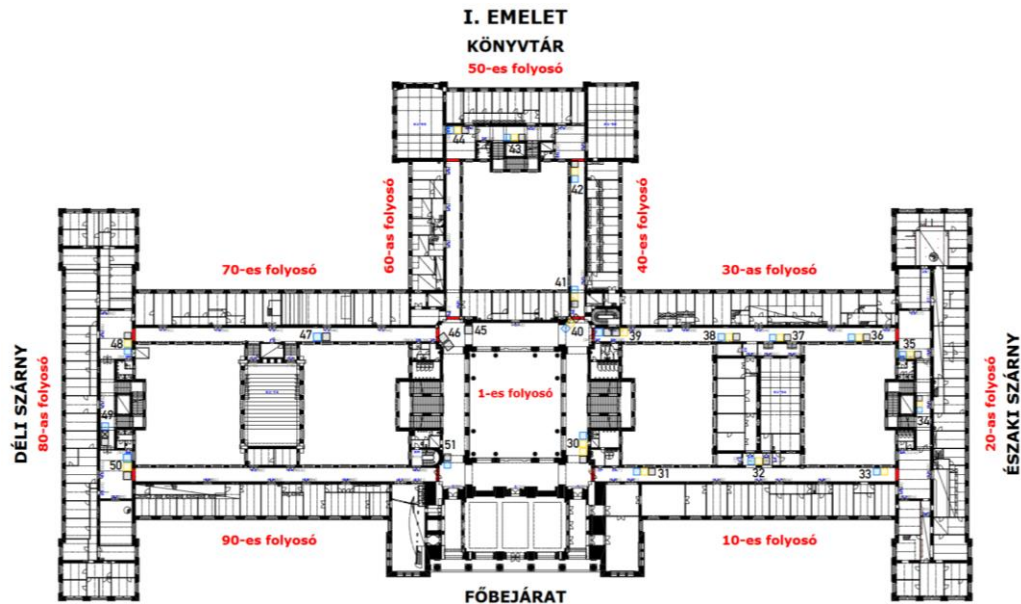
7. ábra: Recobin-dobozok [22]



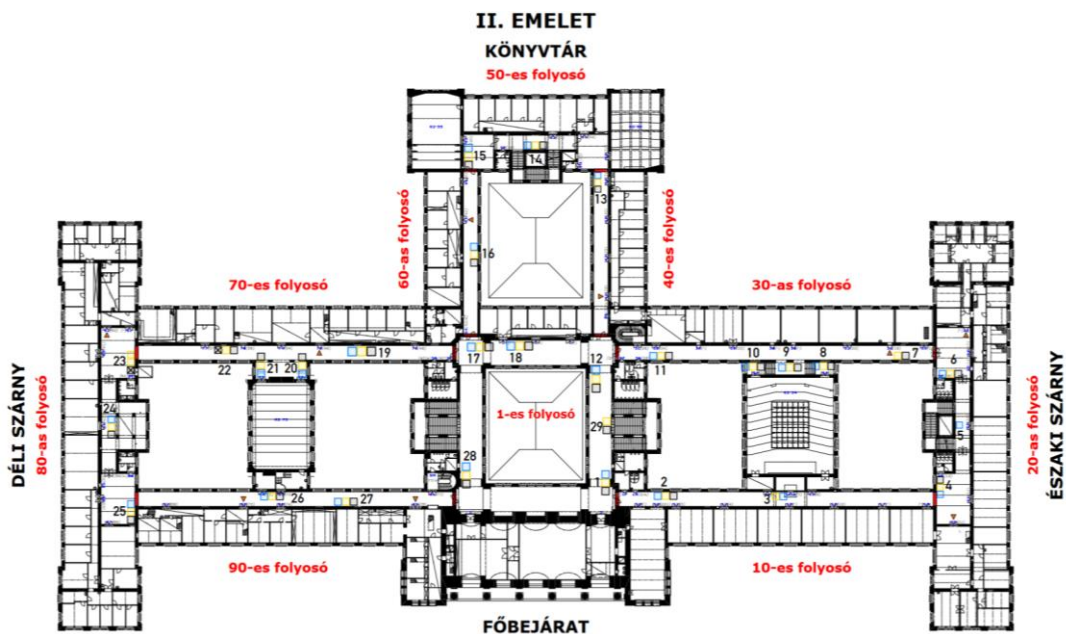
8. ábra: Különböző fedélnyílások

A mérés során vizsgált dobozokat a 9. ábrán bemutatott alaprajz felhasználásával jelöltem meg, a hozzávetőleges helyszínek a 10. és 11. ábrákon láthatók, ahol minden gyűjtőt színes négyzög jelöl. A színezés a Recobin által alkalmazott jelöléssel megegyező: a sárga a műanyag hulladékot, a kék a papírt, a fekete pedig a vegyeshulladékot jelöli. Az áthúzott fekete négyzögek azokhoz a dobozokhoz kerültek, melyeken nem volt fedél – ezekbe feltehetően vegyesen kerültek a különböző

hulladéktípusok. Mint az ábrákon is látszik, több olyan sziget is van az épületben, amelyben eggyel több vagy kevesebb doboz van a megszokottnál, és előfordulnak magányos gyűjtők is. A vizsgált időszak során csak kisebb változásokat figyeltem meg a pozíciókban: néhány méternél egyik doboz sem került tovább eredeti helyétől, és nem volt olyan gyűjtő, ami eltűnt. Az egyes szigeteket az ábrákon számozással jelöltem, ez a második emeleten kezdődik az 1-es jelölésű dobozcsoporttal, a legutolsó helyszín pedig az első emeleten található 51-es sziget.



9. ábra: A hulladékgyűjtő szigetek hozzávetőleges elhelyezkedése (1. emelet, felhasznált alaprajz: [20])

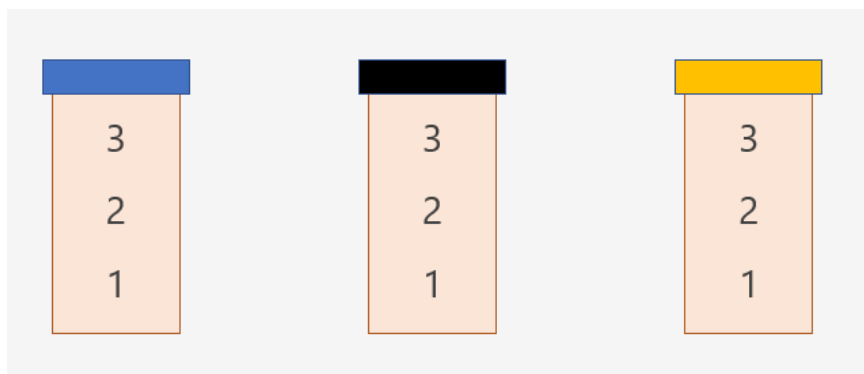


10. ábra: A hulladékgyűjtő szigetek hozzávetőleges elhelyezkedése (2. emelet, felhasznált alaprajz: [20])

2.2. Az alkalmazott módszertan

Vizsgálatom első lépéseként az érintett emeleten kihelyezett dobozok pontos elhelyezkedésének felmérését végeztem el, az így kapott helyszíneket pedig – az előző alfejezetben bemutatott módon – a forrásként felhasznált alaprajzokon jelöltem meg. A vizsgálat fő eszközeként a (jellemzően logisztikai folyamatok felmérésére és fejlesztésére használt) multimoment-módszertant alkalmaztam: így az adatfelvétel próbaméréssel kezdődött. Ennek során egy kiválasztott hét minden napján, eltérő időpontokban szemrevételezéssel vizsgáltam meg, és osztályoztam egyszerű skálán a dobozokban található hulladékmennyiséget. Az időpontok véletlenszerű kiválasztása segített elkerülni az olyan – adattorzító hatású – mérési hibákat, mint a ciklikus adatfelvétel.

A következő fejezet 1. táblázatában is látható 1, 2 és 3 értékek a dobozok telítettségét jelölik. Mivel a mérés során szemrevételezést alkalmaztam, a szám a dobozok térfogatára vonatkozik: a legfeljebb egyharmadáig telt gyűjtő egyes, míg a kétharmad feletti telítettségű doboz hármas kategóriába került, a kettő között pedig a kettessel jelöltek szerepelnek (11. ábra).



11. ábra: A telítettségi szintek szemléltetése

A próbamérés hetén több kiválasztott alkalommal részletesebb vizsgálatra is sort kerítettem, ekkor a megadott szempontok szerint kiválasztott dobozok pontos tartalmáról gyűjtöttem információkat. Ezeket felhasználva előzetesen meghatározott kategóriákba sorolhattam a bennük található összes tárgyat. Az így kapott mintát ezután elemzésekhez használom fel, melyek eredményeként – megfelelő metrikák definiálása után – képet kapok a gyűjtés mennyiségi és minőségi mutatóiról, mely felhasználható a javaslattételre.

3. A mérések megvalósítása

A harmadik fejezetben a mérések során gyűjtött adatokat és tapasztalatokat mutatom be. Az épület első bejárásakor elvégeztem az előző fejezetben bemutatott feltérképezést, valamint a gyűjtőszigetek számozását. Mivel a kék (K), fekete (F) és sárga (S) gyűjtők mellett több olyan dobozt is feljegyeztem, melynek nem volt fedele, ezekhez külön jelölést kellett alkalmaznom. Annak érdekében, hogy az adatokból összeállított táblázat könnyen átlátható maradjon, az egy szigeten található, megegyező színű tárolókat is külön jelöléssel láttam el - az így kialakított rendszert az 1. táblázatban mutatom be. A munka során „teljes szigetként” arra a csoportra utalok, amely mindhárom gyűjtőtípusból pontosan egyet tartalmaz.

1. táblázat: Jelölések

Jelölés	Magyarázat
K1, K2	Az épület emeletei
X	Teljes szigetből hiányzó doboz
1, 2, 3	Telítettségi szintek
①, ②, ③	Fedél nélküli doboz telítettségi szintjei
1 1, 2 1, stb.	Megegyező fedelű dobozok telítettsége egy szigeten

4. Kiértékelés

Az összegyűjtött adatokat elsősorban a multimoment-módszer elveihez igazodva kívántam értékelni, hiszen a körjáratok mintavételezésként értelmezhetőek, melyek során a gyűjtődobozok egy jellemzőjét vizsgáltam. Ehhez elsősorban összegeznem kellett a különböző telítettségi értékeket gyűjtőtípusok szerint (2. táblázat). Itt ismét az előző fejezet során bemutatott jelöléseket alkalmaztam (1. táblázat), a számolás menete pedig – Bertalan Marcell gyakorlatjegyzeteit felhasználva – a tanszéken tanultakhoz igazodik [23].

2. táblázat: Összegzett adatok – jelölésenként

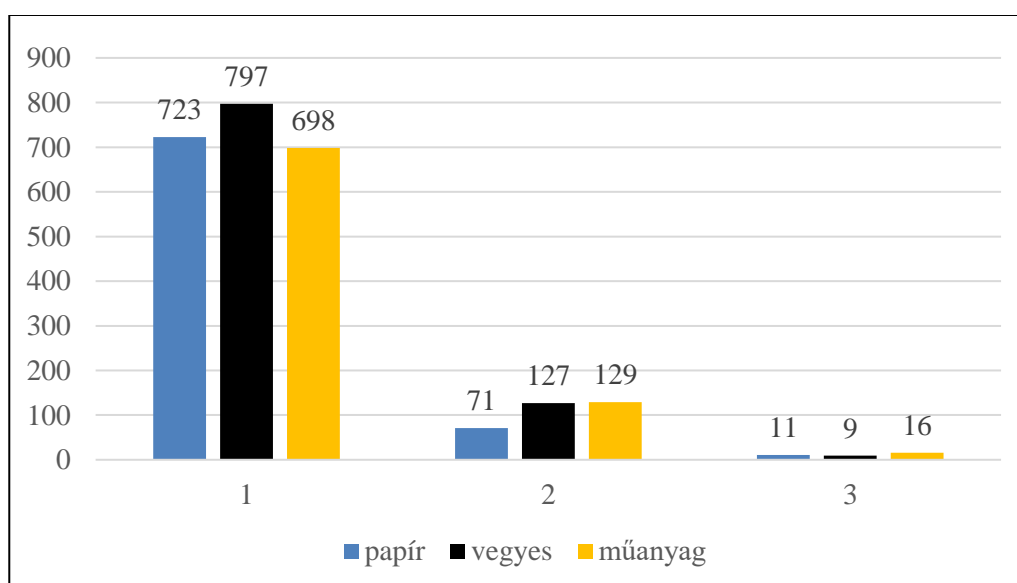
	Papír	Vegyes	Műanyag
1	719	677	638
2	71	107	119
3	11	8	14
X	96	65	93
①	17	16	17
②	2	2	1
③	0	0	0
1 1	2	30	26
1 2	0	6	7
1 3	0	0	0
2 1	0	4	1
2 2	0	2	1
2 3	0	0	0
3 1	0	0	0
3 2	0	1	0
3 3	0	0	1
Összesen	918	918	918

Következő lépésként összevontam azokat a gyűjtőket, melyek egy kategóriába tartoztak. A fedél nélküli dobozokat itt a „vegyes” kategóriába soroltam át, mivel tapasztalataim szerint a fedélszín, valamint az egyértelműsítő felirat hiányában ezeket vegyeshulladék gyűjtésére használják. Az átsorolás következményeként az összesített értékek a 3. táblázatban nem egyeznek meg típusonként.

3. táblázat: Összegzett adatok – telítettség szerint

	Papír [db]	Vegyés [db]	Műanyag [db]
1	723	797	698
2	71	127	129
3	11	9	16
X	96	65	93
Összesen	901	998	936

Az egyes telítettségértékeket ábrázolva (12. ábra) nyilvánvalóvá válik, hogy túlnyomó többségben az egyes szint jellemzi a vizsgált gyűjtőket.



12. ábra: Az egyes telítettségértékek előfordulása

Következő lépésként az egyes telítettségi szintek előfordulásának relatív gyakoriságát határozom meg (4. táblázat).

4. táblázat: Relatív gyakoriságok a hiányzó dobozokkal

Telítettség	Papír	Vegyés	Műanyag
1	80,24%	79,86%	74,57%
2	7,88%	12,73%	13,78%
3	1,22%	0,90%	1,71%
X	10,65%	6,51%	9,94%
Σ	100,00%	100,00%	100,00%

Itt a hiányzó gyűjtőket (melyek jelölése „X”) is figyelembe vettem. Ennél azonban pontosabb adatokat eredményezhet, ha ezek gyakoriságával nem számolok, hiszen az X-ek valójában hiányt jelentenek; ehhez igazodva az előzőktől eltérő adatokat eredményez a relatív gyakoriságok meghatározása (5. táblázat).

5. táblázat: Relatív gyakoriságok a hiányzó dobozok nélkül

Telítettség	Papír	Vegyes	Műanyag
1	89,81%	85,42%	82,80%
2	8,82%	13,61%	15,30%
3	1,37%	0,96%	1,90%
X	0,00%	0,00%	0,00%
Σ	100,00%	100,00%	100,00%

A számolt adatok értelmezése során is kiderülhet, hogy nagyon gyakori (mindhárom hulladéktípus esetében nyolcvan százalék feletti) az alacsony telítettség előfordulása, a harmadik, teljes telítettséget pedig szinte elhanyagolható (két százalék alatti) arányban érik el a gyűjtődobozok. Ezen információkhoz igazodva a kettes kategóriát összevonom a hármassal (6. táblázat), hiszen mindkettő telítettség előfordulása alacsony, és az összevonás a továbbiakban meghatározandó szükséges mérésszám csökkenéséhez vezet.

6. táblázat: Relatív gyakoriságok összevont értékekkel

Telítettség	Papír	Vegyes	Műanyag
1	89,81%	85,42%	82,80%
2	10,19%	14,58%	17,20%

Következő lépésként meghatározható a szükséges mérésszám (melynek jelölése „N”), ehhez a gyakorlatjegyzetben leírt összefüggéseket használom fel [23]. A mérésszám meghatározására először 5 kör megtétele után került sor – ez jelentette a „próbamérés” fázisát, így először ennek eredményeit mutatom be. Ennek célja az volt, hogy hozzávetőleges értéket adjon az adott megbízhatóság mellett elvégzendő mérések számáról [23].

$$(1) N = \left\lceil \frac{z^2 \cdot (1-p_{min})}{\epsilon^2 \cdot p_{min}} \right\rceil$$

A képletben „z” a megadott megbízhatóság (80%) melletti normális eloszlás inverzét jelöli, melyet az Excel „NORM.S.INV” függvényével határoztam meg, „ ϵ ” pedig a megengedett hiba mértéke, amely ebben a dolgozatban a jegyzetben alkalmazott 10 százalékos értéket veszi fel [23]. A számolás során az 8. táblázatban szereplő értékeket vettem figyelembe.

7. táblázat: Próbamérés: relatív gyakoriságok összevont értékekkel

Telítettség	Papír	Vegyes	Műanyag
1	87,11%	82,31%	77,02%
2	12,89%	17,69%	22,98%

8. táblázat: A felhasznált tényezők

Jelölés	Érték
z	1,282
ε	0,1

Ezekkel számolva meghatározható a próbamérés alapján szükséges körszám is, melyhez először a vizsgálandó gyűjtők mennyiségét adom meg (ez a fent meghatározott szükséges mérésszám), majd ezekből levonom az eddig megvalósult mérések számát, végül pedig elosztom az eredményt az egy kör alatt “meglátogatott” dobozok számával (9. táblázat).

9. táblázat: A szükséges mérésszám – próbamérés után

	Papír	Vegyes	Műanyag
Összes mérés [db]	1111	765	551
Valós mérés [db]	886	505	316
Kör [db]	20	10	7

Ennek eredményeként kiderül, hogy az elvárt megbízhatóság és megengedett hiba mellett 5 körjárat megtétele után még legalább 20 környi mérésre van szükség a megfelelő mennyiségű adat összegyűjtéséhez, csak ezek után válik lehetségessé a konfidenciaintervallum meghatározása adott megbízhatósági szint mellett.

Alternatív megoldásként 20%-os megengedett hibával számolva is meghatároztam a mérésszámot, az így kapott számokat a 10. táblázatban tüntetem fel.

10. táblázat: Alternatív mérésszám

	Papír	Vegyes	Műanyag
Összes mérés [db]	278	192	138
Valós mérés [db]	53	-68	-97
Körök [db]	2	-1	-2

Ezekkel az értékekkel nem számolok, pusztán azt kívánom velük szemléltetni, hogy a megengedett hiba mekkora hatással van az elvégzendő mérések számára, és ezáltal mekkora jelentőséggel bírhat egy ilyen jellegű folyamat tervezése és megvalósítása során. A negatív mérésszámok jelentéstartalma, hogy a mérések száma megfelelő, nem szükséges több kört megtenni.

A próbamérést követően további 13 kört tettem meg, majd az összegyűjtött adatokat felhasználva ismét elvégeztem a fent bemutatott számításokat – ezek eredményeit a korábban bemutatott 6. táblázat, valamint a 11. táblázat tartalmazza.

11. táblázat: A szükséges mérésszám 18 kör után

	Papír	Vegyes	Műanyag
Összes mérés [db]	1449	963	791
Valós mérés [db]	644	30	-52
Kör [db]	15	1	-1

A táblázatban bemutatott adatok szerint a papírgyűjtők esetében további 15 kör megtételére van szükség a kívánt megbízhatósági szint eléréséhez. A feljegyzett mennyiségeket áttekintve azonban egyértelművé vált, hogy a mérések folytatásával az egyes és kettes (összevont) telítettségi szintek között „egyensúly” alakult ki – ez azt jelenti, hogy az egymáshoz viszonyított arányuk a mérések folytatásával közel állandó maradt. Ennek eredményeként az (1) jelölésű képletben szereplő p_{\min} , vagyis a legkisebb relatív gyakorisággal bíró állapot előfordulása nem változik jelentős mértékben, így a mérések folytatásával nem várható a szükséges körök számának csökkenése. Így a körök során gyűjtött adatok mennyiségét megfelelőnek ítélem, és további körök megtételére nem kerül sor.

Mivel a mérések egy kifejezett célja volt, hogy adott megbízhatósági szint, valamint megengedett hiba mellett egy konfidenciaintervallumot határozzak meg, a bemeneti adatok módosítására van szükség. A fent bemutatott képletből kiindulva így a megengedett hiba (ϵ) mértékét módosítom. Amennyiben ez 10% helyett 14%, a szükséges mérésszám a papírgyűjtő dobozokat vizsgálva a következő:

$$(2) N_2 = \left\lceil \frac{1,282^2 \cdot (1-0,1019)}{0,15^2 \cdot 0,1019} \right\rceil = -1 \text{ kör}$$

Az összes eredmény a 12. táblázatban szerepel – a körszámok 0 alattiak, tehát már megfelelőek, így a konfidenciaintervallum meghatározása megvalósítható.

12. táblázat: A szükséges mérésszám módosított hibával

	Papír	Vegyes	Műanyag
Összes mérés [db]	739	492	404
Valós mérés [db]	-66	-441	-439
Kör [db]	-1	-8	-9

A konfidenciaintervallum mindhárom hulladéktípus esetében meghatározásra kerül. A felhasznált összefüggések a következők [23]:

$$(3) \Delta p = \sqrt{\frac{z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{N}}$$

$$(4) AH = p - \Delta p$$

$$(5) FH = p + \Delta p$$

A behelyettesítések a papírhulladék adatainak esetében a következők:

$$(6) \Delta p = \sqrt{\frac{1,282^2 \cdot 0,8981 \cdot (1-0,8981)}{805}} = 1,3662 \%$$

$$(7) AH = 0,8981 - 0,01367 = 0,8845$$

$$(8) FH = 0,8981 + 0,01367 = 0,9118$$

Így 80 százalékos megbízhatóság és 14 százalék maximálisan megengedett hiba mellett kijelenthető, hogy 88,45%, valamint 91,18% közé fog esni annak a valószínűsége, hogy vizsgálatunk során 1-es telítettségi szintet mérünk egy papírgyűjtő dobozon. A további konfidenciaintervallumokat azonos módszerekkel határozom meg, az eredményeket a 13., valamint a 14. táblázat tartalmazza.

13. táblázat: Konfidenciaintervallumok – egyes telítettségi szint

	Papír	Vegyes	Műanyag
Intervallum	1,3662%	1,4805%	1,6657%
Alsó határ	88,45%	83,94%	81,13%
Felső határ	91,18%	86,90%	84,47%

14. táblázat: Konfidenciaintervallumok – kettes telítettségi szint

	Papír	Vegyes	Műanyag
Intervallum	1,3662%	1,4805%	1,6657%
Alsó határ	8,82%	13,10%	15,53%
Felső határ	11,55%	16,06%	18,87%

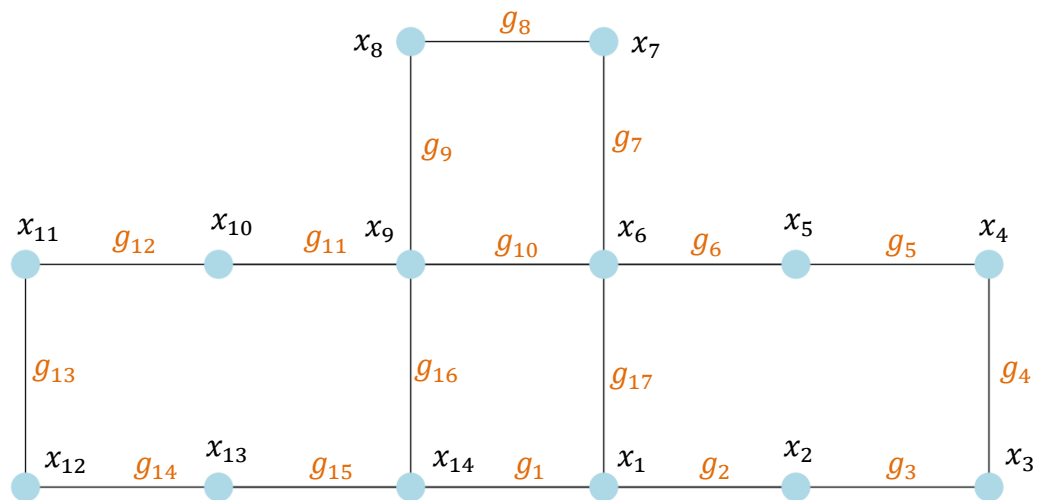
5. Modellalkotás

Az összegyűjtött adatokat ebben az alfejezetben modellalkotásra használok fel, melynek célja a későbbi javaslatétel matematikai megközelítésű alátámasztása, valamint a probléma leegyszerűsítése. Jelen munka során céлом a hulladékgyűjtő dobozok számának optimalizálása, így az operációkutatás eszköztárát használok fel – a mérések tapasztalatai szerint a telítettségi szintek jellemzően alacsonyak, így feltételezhető, hogy ezekkel a módszerekkel fejleszhető lesz a jelenlegi rendszer. A hulladékgyűjtők kihelyezésének kérdését gráfokkal modellezem, így olyan lineáris optimalizálási feladatként kezelhetem a problémát, melyet megoldva javaslatot tehetek a jelenlegi elrendezés módosítására.

5.1. A modell leírása

A gráfok megalkotásához az épület vizsgált emeleteinek alaprajzait használok fel, melyeken a jelenleg kihelyezett gyűjtők szerepelnek. Mindhárom hulladéktípushoz (papír, műanyag és vegyes) egy-egy gráfot rendelek – mivel ezeket a gyűjtőket külön kell kezelni, a modellben sem vonom össze őket.

A fejezetben a vegyeshulladékhoz tartozó gráf (13. ábra) példáján keresztül mutatom be a többi típus esetében is figyelembe vett szempontokat (a többi hulladéktípushoz tartozó gráf csak a súlyok tekintetében tér el ettől). Ebben a gráfban minden él egy folyosót vagy folyosószakaszt jelképez, a csúcsok pedig a folyosók találkozásánál, valamint a hosszabb folyosók esetén azok felezőpontjánál kerültek elhelyezésre. Ezek a csúcspontok jelölik a fejlesztett elrendezésben azokat a helyeket, amelyekhez gyűjtődobozt rendelhetek.



13. ábra: Az alaprajzra felvett gráf

A gráf éleinek súlyozása a mért telítettségértékek felhasználásával valósul meg. Ehhez az egyes gyűjtőkön megfigyelt maximális értéket osztom fel a közeli élek között: például az éleken elhelyezkedő dobozok tartalmának egésze az adott él súlyához adódik, de a csúcson elhelyezkedőké annyifelé oszlik, ahány él fut az adott csúcsba. A súlyozás mértékegysége itt az eddig alkalmazottal megegyező, tehát a gráfon egy egységnyi súly egy gyűjtődoboznyi hulladéknak felel meg. Ennek eléréséhez a telítettségi adatokat harmadolni szükséges, hiszen három „telítettségi szint” hulladék felel meg egy doboznak.

A maximális mért értékekkel való számolás biztosítja, hogy a mérési időszak során megfigyelt legnagyobb „terhelést” is el fogja viselni a javasolt rendszer, és nem lesz olyan hulladék, amelynek már nem jut hely a gyűjtőkben.

5.2. Lineáris programozás

A gráf éleihez rendelt súlyokat g_j jelöléssel látom el, ahol j az él sorszáma. Az élsúlyok a mérések alapján, az előző alfejezetben leírtaknak megfelelően kerülnek meghatározásra: ezek az egyes dobozok telítettségértékeiből számolhatók. A gráf élein elhelyezkedő dobozok telítettsége az adott él súlyához adódik, az élek találkozásánál elhelyezkedőké pedig az összefutó élek számának megfelelően oszlik egyenlő részekre, majd az így kapott számok adódnak a befutó élek súlyaihoz. Tehát egy él súlya a hozzá tartozó folyosószakaszon megjelenő hulladék mennyiségét mutatja – a csúcspontoknál pedig azért osztódnak egyenlő részekre a mennyiségek, mert arról nem áll rendelkezésemre információ, hogy melyik folyosószakaszról érkezett a gyűjtőben elhelyezett hulladék.

A csúcshoz szintén értékeket rendelek, ezek x_i jelölést kapnak – itt i az adott csúcs sorszáma. A feladat megoldásaként azt fogom megkapni, hogy a gráf mely csúcsaira szükséges dobozt helyezni, illetve melyekre nem. Ezt az információt tartalmazza majd a csúcshoz rendelt számérték:

$$(9) x_i \in \{0; 1\} \quad \forall i$$

Ez akkor veszi fel a 0 értéket, ha nem rendelendő gyűjtődoboz az adott helyhez, az 1-et pedig akkor, ha igen.

Az LP minimalizálási feladat lesz, hiszen céлом, hogy a kihelyezett dobozok számát a lehető legkisebbre csökkentsem – így az üzemeltetőknek kevesebb dobozt kell üríteniük, és a felesleges dobozok átkerülhetnek olyan helyekre, ahol igény van rájuk. Tehát a célfüggvény a következő lesz:

$$(10) \min \sum_{i=1}^n x_i$$

Ahhoz, hogy elfogadható elrendezést eredményezzen a számolás, több feltételnek is teljesülnie kell. Az első, már említett kikötés szerint az új elrendezés kapacitása nem lehet kisebb, mint az egyes dobozokon mért maximális értékek összege.

Ez azt jelenti, hogy az élek súlyainak összegét meghaladó összkapacitásra van szükség:

$$(11) \sum_{i=1}^n x_i \geq \sum_{j=1}^m g_j$$

Emellett legalább minden második lehetséges helyen szükséges dobozt elhelyezni, ezzel megelőzve azt, hogy az emelet egyik részén túl sok, egy másikon pedig túl kevés gyűjtő kerüljön elhelyezésre. Ezt a következő kikötéssel lehet biztosítani:

$$(12) x_i + x_j \geq 1 \quad \forall (i, j) \in E$$

Itt E az élek halmaza. Így a szomszédos csúcsok közül legalább az egyikhez minden esetben hozzá lesz rendelve egy gyűjtődoboz, tehát sehol sem alakul ki túl nagy távolság két doboz között.

A Microsoft Excel szoftver Solver bővítményét alkalmazva a probléma egyszerűen megoldható, ennek folyamatát a papírhulladék adatait felhasználva mutatom be. A gráf éleinek súlyai a 15. táblázat szerintiék lesznek – ezek a fent leírt elvek szerint kerültek meghatározásra, így az elosztott telítettségértékek harmadával egyenlőek.

15. táblázat: Élsúlyok – papír, második emelet

Él	Elosztott telítettség	Élsúly
g_1	0,428571	0,142857
g_2	1,928571	0,642857
g_3	1,000000	0,333333
g_4	2,178571	0,726190
g_5	2,107143	0,702381
g_6	2,785714	0,928571
g_7	1,214286	0,404762
g_8	1,571429	0,523810
g_9	1,642857	0,547619
g_{10}	2,500000	0,833333
g_{11}	2,214286	0,738095
g_{12}	1,071429	0,357143
g_{13}	1,500000	0,500000
g_{14}	1,000000	0,333333
g_{15}	1,500000	0,500000
g_{16}	1,142857	0,380952
g_{17}	1,642857	0,547619

Az élsúlyok ismeretében futtatható a Solver, melynek bemenő adatait a 14. ábra mutatja be – a kikötések itt igazodnak a fenti képletekben leírtakhoz.

Élek	Élsúlyok		Csúcsok	Változók	Összegek
g1	0,14286		x1	1	2
g2	0,64286		x2	1	2
g3	0,33333		x3	1	1
g4	0,72619		x4	1	1
g5	0,70238		x5	0	1
g6	0,92857		x6	1	1
g7	0,40476		x7	0	2
g8	0,52381		x8	1	1
g9	0,54762		x9	0	1
g10	0,83333		x10	1	1
g11	0,7381		x11	0	1
g12	0,35714		x12	1	1
g13	0,5		x13	1	1
g14	0,33333		x14	1	1
g15	0,5		SUM	10	
g16	0,38095				
g17	0,54762				
SUM	9,14286				

Solver Parameters

Set Objective:

To: Max Min Value Of:

By Changing Variable Cells:

Subject to the Constraints:

- \$A\$2:\$A\$15 = binary
- \$A\$2:\$A\$8 >= 1
- \$K\$19 <= \$A\$16

Make Unconstrained Variables Non-Negative

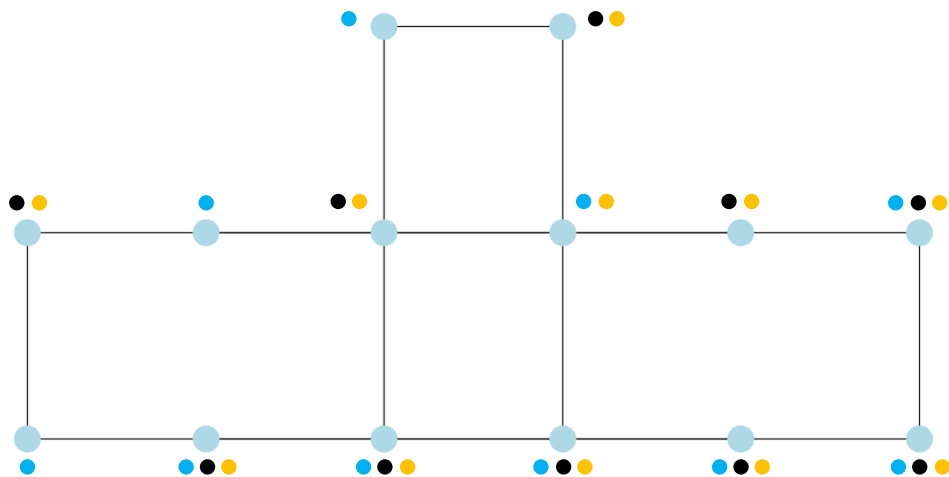
Select a Solving Method:

Solving Method

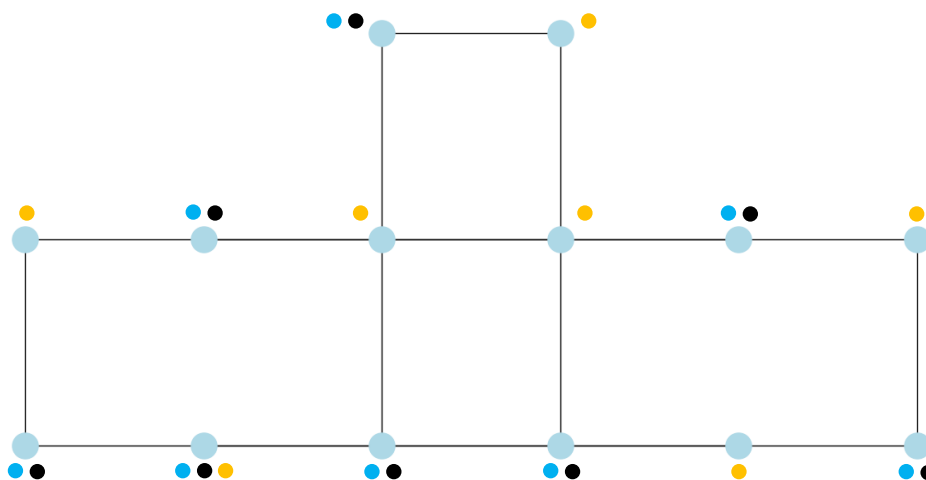
Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

14. ábra: A Solver bemenő adatai

A Solver futása eredményeként olyan megoldást ad, mely a bemutatott szempontok szerint optimálisnak tekinthető. Az így kapott gráfok egy új elrendezési javaslatot jelentenek, mely a 15., valamint a 16. ábrák segítségével szemléltethető. Itt minden színezett pont egy hulladékgyűjtő dobozt jelent – a kék pontok papír-, a feketék vegyes-, a sárgák pedig műanyag hulladék gyűjtésére kijelöltek.



15. ábra: A megoldásként kapott elrendezés – 2. emelet



16. ábra: A megoldásként kapott elrendezés – 1. emelet

Ez az elrendezés összesen 18 kék, valamint ugyanennyi fekete és sárga fedelű gyűjtőt igényel. Ez a jelenleg kihelyezettekhez viszonyítva jelentősen kevesebb dobozt jelent, az eltérés mértékét a 16. táblázat mutatja be.

16. táblázat: Eltérések a jelenállapot és az ajánlott elrendezés között

	Papír [db]	Vegyes [db]	Műanyag [db]
Jelenlegi	45	52	47
Ajánlott	18	18	18
Különbség	27	34	29

6. Kitekintés

A dolgozatban nagy vonalakban bemutattam a hazánkra jellemző hulladékgyűjtési tendenciákat, lehetőségeket, valamint belekezdtem a fővárosi hulladékgazdálkodás folyamatának vizsgálatába. Felmérésemet tanulmányaim helyszínéhez közel, a BME kampuszáról indítottam – a központi épület két emeletét térképeztem fel, és itt végeztem körjárataimat. A munka során több olyan ötlet és téma is előkerült, melyekre érdemes lehet a jövőben időt és figyelmet fordítani. Ilyen a hőtérkép készítése, amin a hulladékgyűjtők állapotát szemléletesen lehet megjeleníteni, vagy a gyűjtőszigetek átrendezése és újbóli kiosztása a dolgozatban tett javaslatához igazodva, majd az így elért hatás vizsgálata. A gyűjtés minőségét mérőszámokkal is lehet értékelni, ehhez azonban a tartalmi adatok részletes vizsgálata szükséges, melyhez elengedhetetlen egy egyértelmű szempontrendszer kialakítása.

Számos olyan kérdés maradt, melyekre a munka során nem tértem ki – példa erre az újrahasznosítás iparágának felmérése és értékelése, vagy a lakossági és ipari hulladékok tartalmának és mennyiségének összevetése –, ezek szintén kutatási témákat képezhetnek a jövőben. A munka során bemutatott modell egyszerű megoldást kínál a közepes méretű hulladékgyűjtő rendszerek fejlesztésére, amely az első lépését jelentheti egy összetettebb hatékonyságnövelő folyamat megvalósításának.

Felhasznált irodalom

- [1] *Hoornweg, Daniel, and Perinaz Bhada-Tata.* „**What a waste: a global review of solid waste management.**” (2012).
- [2] *Európai Parlament.* **DIRECTIVE 2008/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL,** URL: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:EN:PDF>
- [3] *Központi Statisztikai Hivatal.* **Fenntartható fogyasztási és termelési módok kialakítása,** URL: <https://www.ksh.hu/sdg/3-28-sdg-12.html>
- [4] *Eurostat.* **Half a tonne of municipal waste generated per person in the EU,** URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210216-1?redirect=%2Feurostat%2F>
- [5] *MOHU.* Bemutatkozik a MOHU, URL: <https://mohu.hu/rolunk>
- [6] *MOHU.* **MOL Group által újrahasznosított termékek és kapacitás,** URL: <https://mohu.hu/rolunk/mol-group-által-ujrahasznositott-termekekrol-es-kapacitasrol>
- [7] *MOL.* **Európában egyedülálló biodízelgyártó üzemet épített a Rossi Biofuel és a MOL-csoport Komáromban,** URL: <https://mol.hu/hu/mediaszoba/europaban-egyedulallo-biodizelgyarto-uzemet-epített-a-rossi-biofuel-es-a-mol-csoport-komaromban>
- [8] *FKF.* **Jelenleg leadható hulladékfajták a hulladékudvarokban,** URL: <https://www.fkf.hu/jelenleg-leadhato-hulladekfajtak> (letöltve: 2023.03.25.)
- [9] *Eurpoean Environment Agency.* **European waste catalogue,** URL: <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/european-waste-catalogue-1>
- [10] *van Capelleveen, Guido, et al.* **"Toward building recommender systems for the circular economy: Exploring the perils of the European Waste Catalogue."** *Journal of environmental management* 277 (2021): 111430.
- [11] *Ambrusz, József, and Árpád Muhoray.* „**A vörösiszap-katasztrófa következményeinek felszámolása, a keletkezett károk helyreállítása.**” (2015)
- [12] *Beck, Edkardt C.* **"The love canal tragedy."** *EPA J.* 5 (1979): 17.
- [13] *UN Environment Programme.* **UNEP Food Waste Index Report 2021,** URL: <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021> (letöltve: 2023.04.22.)
- [14] *Abdul-Rahman, Fahzy, and Susan Elizabeth Wright.* **"Reduce, reuse, recycle: alternatives for waste management."** (2014).

- [15] **Noble Solutions Endeavor: Why the Three R's Matter and What You Really Need to Know.** <https://www.nseglobal.org/2020/04/27/why-the-three-rs-matter-and-what-you-really-need-to-know/>
- [16] **XFOREST. Hulladékpiramis: hogyan áll össze, mi a célja?**, URL: <https://xforest.hu/hulladekpiramis/>
- [17] *Gharfalkar, Mangesh, et al.* "Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC." Waste management 39 (2015): 305-313.
- [18] **FKF. Fővárosi Hulladékhasznosító Mű,** URL: <https://www.fkf.hu/storage/app/media/Kiadvanyok/2018-FHHM%20-%20MAGYAR.pdf> (letöltve: 2023.04.22.)
- [19] **NISIO Group Hungary. Hulladékgazdálkodás,** URL: <https://nisiogroup.eu/hu/hulladegzadalkodas/> (letöltve: 2023.04.24.)
- [20] **BME Építészeti Ábrázolás Tanszék. A BME K. épületének alaprajza,** URL: <http://www.epab.bme.hu/hirek/bme-k-szamosas.pdf> (letöltve: 2023.03.26.)
- [21] **Recobin. Szolgáltatásunk Felsőoktatási intézményeknek,** URL: <https://recobin.hu/szolgalattas/felsooktatasi-intezmenyeknek> (letöltve: 2023.03.26.)
- [22] **Recobin. Irodai szelektív kukák,** URL: <https://recobin.hu/termek/irodai-szelektiv-kukak> (letöltve: 2023.03.26.)
- [23] **Bertalan Marcell. Anyagmozgatási és raktározási folyamatok: Jegyzet a gyakorlatokhoz.** BME KJK, ALRT. URL: <https://archive.edu.kozlek.bme.hu/>