



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

DIPLOMATERV

*Budapesti koncentrált igénypontok city
logisztikai rendszerének matematikai és
szimulációs modellje*

Sárdi Dávid Lajos

2018

Konzulens:
Dr. Bóna Krisztián

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	2
1. Bevezetés	4
2. A vizsgált területen eddig elért eredmények elemzése	5
2.1. Koncentrált igénypont-halmazok Budapesten	5
2.2. City logisztikai rendszerek Budapesten és más nagyvárosokban	7
2.2.1. City logisztika Budapesten napjainkban	8
2.2.2. City logisztikai megoldások európai nagyvárosokban	10
2.3. Vizsgálati módszertan kidolgozása és alkalmazása	13
2.4. A folyamatok modellezése mezoszkópikus szinten	13
2.5. További kapcsolódó kutatások	14
3. Modellfejlesztési irányok meghatározása	16
3.1. Lehetséges rendszerkonceptiók bemutatása	16
3.2. Modellezési folyamat bemutatása	23
4. Matematikai modell fejlesztése	25
4.1. Az áruszállítási folyamatok matematika modellje a jelenlegi rendszer esetén	25
4.1.1. Beszállítási folyamatok matematikai modellje a jelenlegi rendszerben	25
4.1.2. Inverz logisztikai folyamatok matematikai modellje a jelenlegi rendszer esetén	32
4.2. Az áruszállítási folyamatok matematika modellje a vizsgált új rendszer esetén .	38
4.2.1. Logisztikai folyamatok matematikai modellje az új rendszerben, a beszállítók és a konszolidációs központ között	38
4.2.2. Logisztikai folyamatok matematikai modellje az új rendszerben, a konszolidációs központ és a koncentrált igénypont-halmazok között.....	43
4.3. A költségstruktúra matematikai modelljének összefoglalása	55
5. Szimulációs modell építése, tesztelése, eredmények elemzése	59
5.1. Szimulációs szoftver kiválasztása	59
5.2. Modellépítés az AnyLogic szimulációs eszközben.....	61
5.2.1. A jelenlegi rendszer modelljének felépítése.....	62
5.2.2. Az új rendszer modelljének felépítése	69
5.2.3. A modell tesztelése során előforduló problémák	77

5.3. A kapott eredmények elemzése.....	78
5.3.1. Eredmények az AnyLogic szimulációs eszköz alkalmazásával	78
5.3.2. Eredmények MS Excel alkalmazásával.....	80
5.4. További modellezési feladatok	89
6. Összefoglalás	91
Köszönetnyilvánítás.....	92
Ábrajegyzék	93
Táblázatjegyzék	96
Irodalomjegyzék	97
Mellékletek	101
1. Budapest teherforgalmi zónái és célforgalmas úthálózata	101
2. Az áruszállítási folyamatok matematikai modelljének bemeneti adatai, jelölései és mértékegységei.....	102
3. A szimulációs futtatások során alkalmazott fajlagos költségek	107
3.1. Fajlagos költségek a jelenlegi rendszerben	107
3.2. Fajlagos költségek az új rendszerben	109
4. Az AnyLogic-kal végzett szimuláció során kapott eredmények.....	112
5. A göngyölegkezeléssel és üresjáratokkal kapcsolatos eredmények az MS Excel használatával végzett szimulációs futtatások alapján.....	113
6. A legfontosabb fizikai és költségparaméterek eloszlásai.....	115
6.1. Tranzakciók száma és beszállított árumennyiség eloszlása	115
6.2. Házhozszállítások és göngyölegkezelés paramétereinek eloszlása	117
6.3. Menetteljesítmény és szállítási teljesítmény eloszlása	119
6.4. Összes költség eloszlása	121
7. A menetteljesítmény és az összes költség változása bizonyos paraméterek növelése esetén.....	123

1. Bevezetés

2015 nyarán kezdtünk el foglalkozni a budapesti koncentrált igénypont-halmazok (koncentrált igénypontok) city logisztikai rendszereinek vizsgálatával az ALRT city logisztikai kutatócsoportján belül. Koncentrált igénypont-halmazoknak nevezzük azokat az igénypont-halmazokat, ahol kis területen nagyszámú üzlet helyezkedik el, relatíve nagy áruforgalommal, valamint nagy vásárlóforgalommal. Ilyen igénypontok például a bevásárlóközpontok, a hipermarketek, a bevásárlóutcák, a piacok vagy a repülőterek. Budapest Magyarország legnagyobb városa, területe 525,2 km², lakossága pedig több, mint 1.750.000 fő. Ebben a városban 2017 végén 29409 kiskereskedelmi üzlet volt a KSH adatai alapján [1]. Budapest 21, a korábbiakban általunk is vizsgált bevásárlóközpontjában ebből jelenleg több, mint 3000 üzlet található. Kutatásunk első fázisában elsősorban ezekre a bevásárlóközpontokra koncentráltunk, mivel a bevásárlóközpontok menedzsmentje által generált centralizáltság megkönnyítette az adatgyűjtést. Korábbi külföldi projektek tapasztalatai szerint ezek az igénypontok jelentős áruforgalmat, környezet- és zajterhelést okoznak, miközben a logisztikai rendszereik nem megfelelően vannak kialakítva. Kutatásunk során első lépésben kidolgoztunk egy standard vizsgálati módszertant, amellyel 3 bevásárlóközpontot és a Váci utca bevásárlóövezetét is részletesen felmértük, így napjainkra közel 500, koncentrált városi igénypont-halmazokhoz tartozó üzletről részletes adatokkal rendelkezünk. Ezek az adatok lehetővé tették a logisztikai folyamatok részletes megismerését, valamint alátámasztották a feltételezett problémákat is, így 2016 második felében megkezdtük a budapesti koncentrált igénypont-halmazok jelenlegi city logisztikai rendszerének, valamint többlépcsős új city logisztikai rendszerek működésének mezoszkópikus szintű modellezését.

Diplomamunkámban a kétéves modellező munka fő eredményeit fogom összefoglalni, a modellezési célok bemutatása után pedig részletesen ismertetem a modellezett folyamatok részletes matematikai modelljét, a matematikai modellt egyértelműen leképező MS Excel alapú szimulációs modellt. Ezt követően pedig bemutatom azt a szimulációs modellt, amelyet a matematikai modell alapján egy korszerű, ellátási rendszerek szimulációjára is alkalmas specifikus eszközben építettem fel. Ezen felül bemutatom a két különböző eszközzel végzett szimulációs futtatások eredményeit, amelyek mind azt mutatják, hogy egy ilyen, konszolidációs központot és áruforgalmi zsilipeket alkalmazó többlépcsős új rendszer a teljesítmények és a költségek terén is jelentős megtakarításokat eredményezhet.

2. A vizsgált területen eddig elért eredmények elemzése

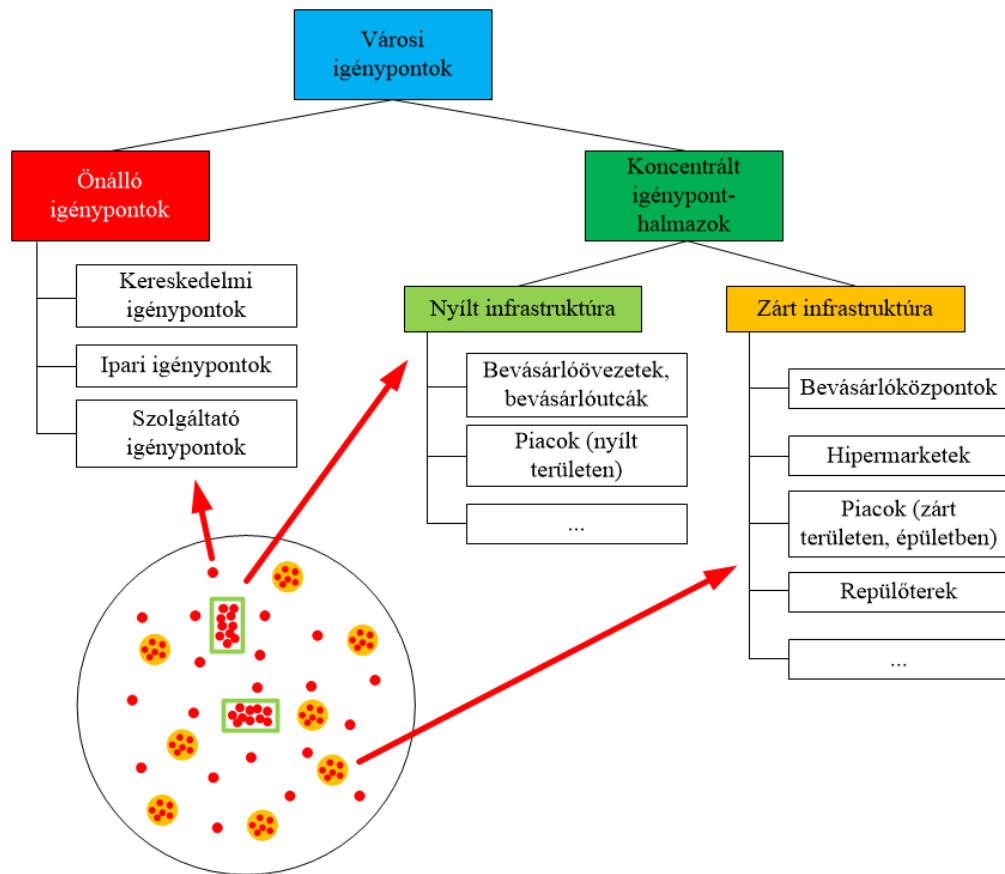
Ebben a fejezetben először részletesen definiálom a vizsgálataink tárgyát képező koncentrált igénypont-halmazokat, áttekintjük azok jelenlegi budapesti helyzetét, bemutatom a jelenlegi budapesti city logisztikai megoldásokat, különböző city logisztikai rendszereket Európa-szerte, valamint írok a city logisztikai kutatásunk eddigi legfontosabb fázisairól is.

2.1. Koncentrált igénypont-halmazok Budapesten

Magyarországon a Központi Statisztikai Hivatal adatai alapján 2017. december 31-ével bezárólag 132.508 kiskereskedelmi üzlet volt, ezek 22,2%-a, azaz 29.409 üzlet a fővárosban, Budapesten található. A budapesti üzletek átlagosan 119 m² alapterületűek, ez összesen 3.490.000 m²-nyi alapterületű kiskereskedelmi üzletet jelent az 525,5 km² területű városban.

A KSH Budapesten 41 bevásárlóközpontot (ezek közül mi 21-et vizsgáltunk az eddigiekben méret, illetve elhelyezkedési szempontokat figyelembe véve) [2], illetve 22 hipermarketet különböztet meg (az egész országban összesen 121, illetve 164 működik, hipermarketként külön regisztrálva azokat is, amelyek bevásárlóközpontban találhatók), ezekben 4.445, illetve 326 kiskereskedelmi üzlet működik. Budapesten 2017 végén a KSH adatai szerint így minden 60 lakosra jutott egy kiskereskedelmi üzlet, továbbá minden 459 lakosra egy bevásárlóközpontban található, illetve minden 5.368 lakosra egy hipermarketben található üzlet [3].

Az igénypontokat jelenlegi kutatásunk szempontjából a 2.1. ábrán látható módon két fő csoportba sorolom: megkülönböztetünk önálló igénypontokat (amelyek lehetnek kereskedelmi, ipari, illetve szolgáltató típusú igénypontok), valamint több önálló igénypontot valamilyen szempont szerint magukba foglaló koncentrált igénypont-halmazokat. Ezeken belül kétféle koncentrálttság különböztethető meg: a nyílt, illetve zárt infrastruktúra által meghatározott koncentrált igénypont-halmazok. A nyílt infrastruktúra egy olyan területet jelent, amelynél nem jelöli ki egy adott épület a koncentrált igénypont határait, ilyen például egy utcák által határolt bevásárlóövezet (pl. Váci utca) vagy egy tér által meghatározott szabadtéri piac. Zárt infrastruktúra alatt bármely olyan épületet értjük, amely koncentrált igénypont-halmazzá fogja össze az önálló igénypontokat.



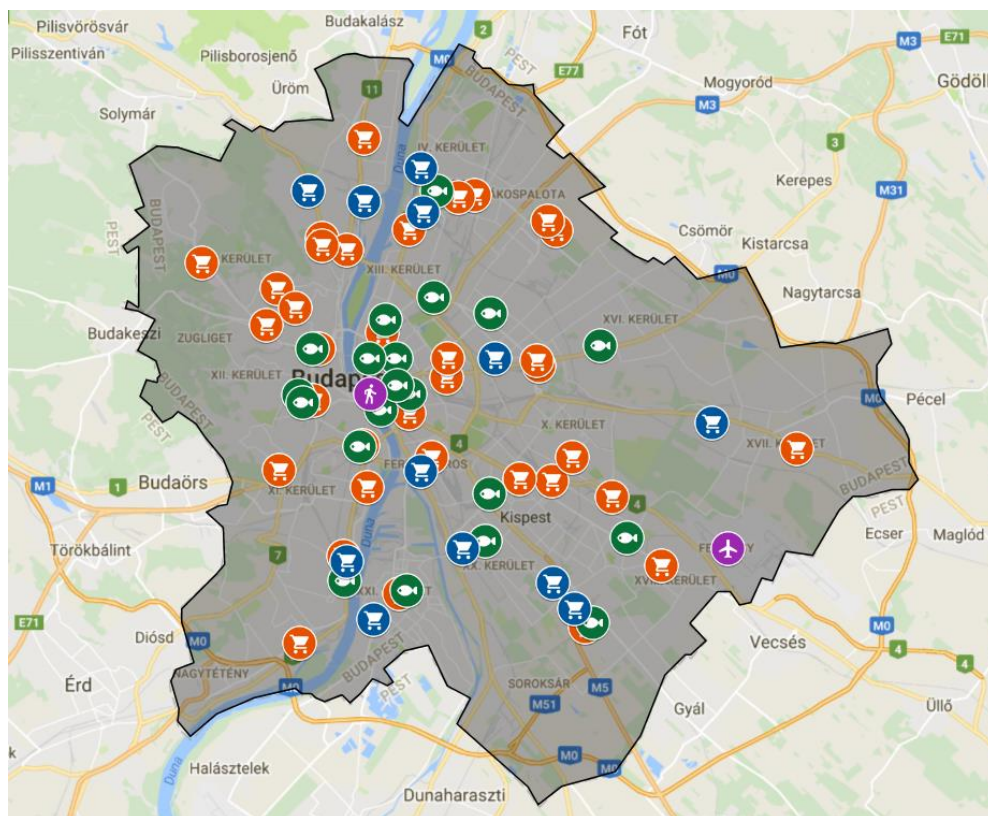
2.1. ábra: A városi igénypontok csoportosítása

Látható, a különböző módon csoportosuló koncentrált igénypontok-halmazon belül is számos csoportot különböztetünk meg. Bevásárlóövezeteknek, illetve bevásárlóutcáknak nevezzük a leglazább szerkezetű koncentrált igénypont-halmazokat, ezek esetében egy lényegében nyitott városi területen sűrűn elhelyezkedő önálló igénypontokról beszélünk, amelyeket az egymáshoz közeli elhelyezkedésük alapján rendelhetünk hozzá egy koncentrált igénypont-halmazhoz (ilyen pl. a Váci utca bevásárlónegyed Budapesten). Ehhez hasonlóan, de sokkal kompaktabb módon kapjuk meg a nyílt, általában egy tér által határolt területen elhelyezkedő piacokat. A bevásárlóközpontok, épületben található piacok, hipermarketek, illetve repülőterek üzleteit ezzel szemben kötöttebb módon, egy épülethez, illetve annak tulajdonosához kötődő kapcsolat révén rendelhetjük egy koncentrált igénypont-halmazhoz. Jelenleg ezt a hat fő csoportot különböztetem meg, azonban természetesen más logika alapján is megkülönböztethetünk további igénypont-halmazokat.

Eddig elsősorban ugyan a bevásárlóközpontokat vizsgáltam, azonban természetesen az egyéb típusú koncentrált igénypont-halmazokkal is foglalkozni kell, mivel ezek is jelentős hatást gyakorolnak a városra. A bevásárlóközpontokban található

több, mint 4000 üzleten felül például a Váci utca bevásárlóövezetben további 500 üzlet található mindösszesen 0,52 km²-es területen, valamint számos piac is van a városban, ezeknek pedig az áruφέleségek más jellegéből adódóan feltételezhetően egészen más folyamatai vannak. Számos hipermarketet is megkülönböztethetünk ezeken felül, figyelembe véve a KSH adatait is [4], valamint ide sorolhatjuk a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér is, mivel ott is nagyszámú üzlet található, azonban itt légi közlekedési, vámkezelési, illetve biztonsági előírásokat is figyelembe kell venni, amelyek speciálissá teszik ennek a koncentrált igénypont-halmaznak a helyzetét.

A 2.2. ábrán látható minden, a korábbi kutatási fázisokban általunk, illetve a KSH által figyelembe vett koncentrált igénypont. Narancssárgával jelöltem a bevásárlóközpontokat, kékkel a hipermarketeket, zölddel a piacokat, illetve lilával az egyéb koncentrált igénypont-halmazokat (Váci utca bevásárlóövezetet, illetve a repülőtér).



2.2. ábra: A vizsgált koncentrált igénypont-halmazok elhelyezkedése Budapesten

2.2. City logisztikai rendszerek Budapesten és más nagyvárosokban

Természetesen a korábbiakban is számos területen foglalkoztak city logisztikai rendszerekkel mind Budapesten, mind pedig más nagyvárosokban. Az elmúlt évtizedekben számos többlépcsős, gateway-koncepció alapú rendszert dolgoztak ki.

Gateway-nek nevezzük a gazdasági körzetek kapuit. A gateway-konceptió többlépcsős logisztikai rendszereket jelent, folyamatos gyűjtési és elosztási feladatokkal. A logisztikai központok és átrakóhelyek tulajdonképpen gateway-ek. Egyszerűbb és áttekinthetőbb, továbbá rendezett kapcsolatok, a jövőben pedig a korszerű logisztikai koncepciók alapjai lesznek. A koncepció három fő lépcsőből áll össze. Az első gateway a logisztikai vagy áruforgalmi központ, ami a gazdasági körzet kapuját jelenti; a második gateway az áruforgalmi alközpont vagy city logisztikai központ, a nagyvárosok, ipari központok kapuját jelenti; a harmadik gateway pedig a városközponti áruelosztó hely vagy áruforgalmi zsilip, ami az üzletközpontok, gyalogoszónák kapuját jelenti [5]. Ezeket alkalmazva 1, 2, illetve háromlépcsős city logisztikai rendszereket alakíthatunk ki.

Ezeknek a rendszereknek legfontosabb elemei a városi konszolidációs központok (azaz UCC-k: Urban Consolidation Centres) [6]. Összetett logisztikai rendszerösszetevőik (pl. speciális tárolási módok, egységrakomány-képzési lehetőségek, közlekedési kapcsolataik és rakodástechnológiai megoldásaik, informatikai infrastruktúrájuk) alkalmassá teszik a városellátással kapcsolatos célú specifikus logisztikai feladatok irányítására, szervezésére és lebonyolítására. Mindezek mellett fontos tényező az UCC-k kedvező térbeli elhelyezése is, a konszolidációs központok a városközpont körül kiépített gyűrű(k) (pl. Budapest esetében célszerűen az M0-s körgyűrű) mentén, egy vagy két lépcsőben helyezkednek el, kapcsolódva, vagy beépülve az intermodális logisztikai központok rendszerébe. A városi áruszállítási feladatokat jellemzően kisebb méretű, környezetbarát meghajtással rendelkező járművek segítségével bonyolítják le, amelyek felépítményeihez illeszthetők a korszerű egységrakomány-képző eszközök, a heterogén árustruktúra integrált kezelésének megvalósítása céljából.

2.2.1. City logisztika Budapesten napjainkban

A városi áruszállítás által okozott problémák nagy általánosságban a következőképpen foglalhatók össze: a tehergépjárművek – megfelelően kialakított rakodóhelyek, illetve megfelelő szervezethez hiányában – jelentős szerepet játszanak a közlekedési dugók kialakulásában, a környezet- és zajszennyezésben, valamint a városi közúti infrastruktúrát is hatványozottan károsítják. A Levegő Munkacsoport számításai alapján egyetlen 30-40 tonnás kamion több százezer személyautóval megegyező kárt okoz az úttestben és hidakban. Emellett a tehergépjárművek légszennyező hatása és

zajterhelése is kiemelkedően magas, utóbbi adott esetben meghaladhatja az ember által egészségkárosodás nélkül tartósan elviselhető mértéket, illetve nem elhanyagolható a közlekedésbiztonsági vonatkozásuk sem [7].

Mind a 2010-es keltezésű Budapest Városfejlesztési Koncepciója, mind pedig a BKK által 2014-2030-as időszakra kidolgozott Balázs Mór Terv tartalmaz Budapest teherszállításának jelenlegi helyzetére és fejlesztési irányaira javaslatokat. Fővárosunk esetében a legjelentősebb, az áruszállítást érintő intézkedés a fizetős behajtási övezetek kialakítása volt (ld. az 1. mellékletben), amely az M0-s körgyűrű keleti szektorának befejezésével jöhetett létre, azonban komoly hiányossága a rendszernek, hogy fizetés ellenében gyakorlatilag bárki behajthat, alternatív megoldást (áruforgalmi zsilipeket, city logisztikai szolgáltató vállalatot) nem dolgoztak ki [8], [9]. Ezáltal a városon átmenő forgalom csökkent, azonban fontos kiemelni, hogy a behajtási övezetek díjszabásának össz tömeg alapra helyezése is negatív következményekkel járt, mivel a szabályok betartása mellett a korábbi árumennyiség beszállítása több fuvarral, kisebb össz tömegű járművekkel kerül beszállításra, ami tovább növeli a tömegre vetített káros anyag kibocsátást, valamint a zajterhelést is.

Mindkettő előbbiekben hivatkozott dokumentum kiemelt fontosságot tulajdonít a városi konszolidációs központoknak, amelyeket áruforgalmi zsilipekkel együtt lehetne Budapesten is üzemeltetni, továbbá tervként szerepel bennük a rakodóterületek számának és kapacitásának bővítése (illetve fontos lenne a pozíciójuk megfelelő meghatározása is), a Duna kapacitásainak jobb kihasználása, valamint az intelligens megoldások használatának bevezetése. A fentiekben ismertetett célkitűzések konkrét megvalósítása Budapesten ma még nem teljesen egyértelmű, az említett két dokumentum megjelenése után több évvel sem láthatók még konkrét projektek. Egy, a Budapesti Közlekedési Központ által jegyzett előadásanyagban mintaprojekteket javasolnak: elsőként a kidolgozásra kerülő city-logisztikai rendszer működőképességének tesztelését javasolják egy fizikailag jól lehatárolható területen (Belvárosi védett övezet vagy Budai Vár, de hasonlóan kezelhetjük az általunk vizsgált koncentrált igénypont-halmazok különböző típusait is, egy mintaprojektre azok is megfelelőek lennének). Másik konkrét javaslat a rakodási területek használatának minősítéshez kötése és szigorú ellenőrzése, cserébe intelligens megoldások biztosítását tartalmazza [10].

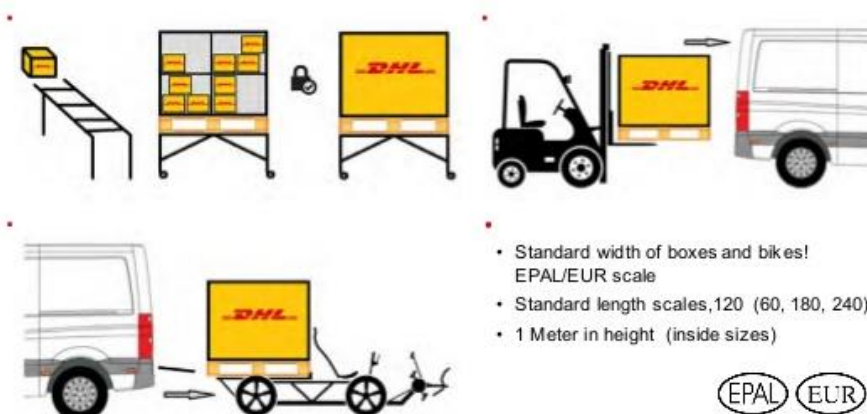
Természetesen korábban is foglalkoztak ezzel a területtel itthon is, pl. kifejezetten a Váci utca bevásárlóövezet ellátásával is [11], azonban célzottan koncentrált igénypont-halmazok vizsgálatával még nem.

2.2.2. City logisztikai megoldások európai nagyvárosokban

Számos nagyvárosban működnek már sikeresen többlépcsős, gateway-konceptió alapú city logisztikai rendszerek. A hagyományos tehergépkocsi megoldásokon felül egyéb járműveket is alkalmaznak néhány rendszerben. Áruszállító villamosokat használnak például a zürichi hulladékszállításban [12] (ld. 2.3. ábra), illetve a drezdai Volkswagen-gyár kiszolgálásában [13], cargo hajókkal dolgoznak Amszterdamban (DHL [14]) vagy Utrechtben (BeerBoat [15]), valamint Európa-szerte számos városban [16] (köztük már Budapesten is) alkalmaznak cargo kerékpárokat a kisebb csomagok, köztük akár már raklapos egységrakományok szállítására. Kombinált többlépcsős rendszerek is számos helyen működnek, ilyen pl. a DHL kistehergépkocsikat és négykerekű cargo kerékpárokat alkalmazó rendszere Amszterdam agglomerációjában [17] (a rendszer működését ld. a 2.4. ábrán).



2.3. ábra: Áruszállító villamos Zürichben [12]



2.4. ábra: A DHL cargo kerékpáros rendszerének működése Amszterdamban [17]

A 2.5. ábra mutatja, hogy jelenleg Európában hol üzemelnek konszolidációs központot alkalmazó rendszerek. Két rendszert szeretnék részletesen is bemutatni: ebből egyik a padovai Cityporto rendszer, amely egy klasszikus kétlépcsős city logisztikai rendszer, a másik pedig a bristoli Broadmead Freight Consolidation Scheme, amely Bristol bevásárlóövezetét (amelyet koncentrált igénypont-halmaznak tekinthetünk a budapesti Váci utcához hasonlóan) szolgálja ki.



2.5. ábra: Működő, konszolidált rendszerek száma Európában [18]

A Padovában működő Cityporto rendszer célja egyértelműen a városi áruforgalom csökkentése és a járművek kihasználtságának növelése volt, kizárólagosan környezetbarát árutovábbítási módok (metángáz meghajtású tehergépkocsik) használata mellett. A Cityporto működési modellje a 2.6. ábrán látható. A logisztikai szolgáltatók vagy a saját járművekkel rendelkező beszállító vállalatok az árut egy, a városhoz közeli, az Interporto logisztikai terminálon elhelyezkedő városi konszolidációs központba szállítják rövid időtartamú átmeneti tárolás és kommissiózás céljából. Innen a Cityporto környezetbarát járművek segítségével továbbítja a belváros korlátozott forgalmi övezetében elhelyezkedő üzletek felé az árut. A 2008 júliusától 2010 júniusáig tartó időszakban 122.170 beszállítási feladatot bonyolítottak le 6.306 beszállítás során, és az új rendszernek köszönhetően az összes menetteljesítmény 561.400 km-rel , a gázfogyasztás pedig 58.200 literrel csökkent, ami 219.65 t CO₂, illetve 51,4 kg PM₁₀ kibocsátás csökkenést jelentett [19].



2.6. ábra: A padovai Cityporto rendszer működése [20]

Másik kiemelendő rendszer a Bristol Broadmead Consolidation Scheme [21], ahol a városközpontban található bevásárlónegyed 63 üzletét szolgálják ki tehergépkocsikkal kétlépcsős city logisztikai rendszerben. Ezt a területet, amely a budapesti Váci utca bevásárlóövezethez hasonló, tekinthetjük koncentrált igénypont-halmaznak. Ebben a rendszerben a konszolidációs központot a város határán helyezték el (a későbbi szimulációs vizsgálatok során a konszolidációs központ esetében mi is hasonlóan járunk el). Itt az új rendszernek köszönhetően sikerült a vizsgált (2006-2009 közötti) időszakban a beszállítási tranzakciók számát 75%-kal, a menetteljesítményt 196.000 km-rel, a CO₂ kibocsátást 22,5 t-val, a PM₁₀ kibocsátást pedig 21,8 kg-mal csökkenteni [21]. Nagy-Britanniában hasonló rendszer működik London Heathrow repülőtérén is (ami szintén koncentrált igénypont-halmaznak tekinthető), ahol konszolidáltan végzik a beszállításokat a környező utak terhelésének csökkentése érdekében [22].

A fent említett esetek, illetve a sikeres padovai projekt is azt mutatja, hogy a többlépcsős szervezésű city logisztikai rendszerek komoly megtakarításokat eredményezhetnek. Megállapítható továbbá, hogy jelenleg Budapest esetében nincsenek olyan projektek, amelyek ezzel a területtel ilyen mélységben foglalkoznának, így érdemes ezt elkezdni.

A BME Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszékének city logisztikai kutatócsoportja számos korábbi kapcsolódó kutatás után 2015 nyarán kezdett el foglalkozni célzottan a városi koncentrált igénypont-halmazok logisztikai rendszereinek vizsgálatával, a következő fejezetekben ennek a projektnek az eddigi eredményeit mutatom be.

2.3. Vizsgálati módszertan kidolgozása és alkalmazása

Kutatásunk első lépéseként ki kellett dolgoznunk egy vizsgálati módszertant, amely lehetővé teszi a koncentrált igénypont-halmazok (elsőként bevásárlóközpontok, majd azt követően bevásárlóövezetek) logisztikai jellemzőinek megismerését. Ez a módszertan egy feltáró kutatásból (szakértői interjú, megfigyeléses vizsgálat), illetve egy minden logisztikai területre kiterjedő, az üzletek által kitöltendő kérdőívből áll. A módszertan kidolgozásáról TDK-dolgozat [23], illetve két publikáció is készült [24] [25]. A módszertan használatával 3 budapesti bevásárlóközpont (amelyek mind a központi kerületekben helyezkednek el) összesen 327 üzletét sikerült felmérnünk, majd azt követően felmértük a Váci utca bevásárlóövezetét is (ehhez természetesen a módszertant is testre szabtuk a bevásárlóközpontok és a bevásárlóövezetek közötti jelentős eltérések miatt), ahol a több, mint 400 üzletből 163 üzlet töltötte ki a kérdőívünket [26], a továbbiakban pedig tervezzük egy budapesti piac, illetve egy külső kerületben található bevásárlóközpont részletes felmérését is.

A vizsgálatok eredményeként megismertük, hogy a vizsgált igénypont-halmazokban milyen üzletek a jellemzők, a beszállítások száma nagy; jellemzően kis járművekben, kis tételeket szállítanak be az üzletekbe, mindez pedig a reggeli csúcsforgalom idejében és a bevásárlóközpontok nyitvatartási ideje alatt történik. A számos jelentkező probléma miatt érdemes új city logisztikai megoldások bevezetésével foglalkozni, emiatt kezdtem el a rendszer modellezésével foglalkozni, amelyhez a korábban begyűjtött adatok megfelelő bemenetet képeznek.

2.4. A folyamatok modellezése mezoszkópikus szinten

A kutatás következő lépéseként elkezdtem felépíteni egy mezoszkópikus szintű szimulációs modellt Microsoft Excelben, amely alkalmas a budapesti bevásárlóközpontok beszállításainak vizsgálatára mind a jelenlegi helyzetben, mind pedig az alternatív city logisztikai rendszerek esetében. A 2016 óta tartó modellezési folyamatban már számos dolgozat, valamint publikáció készült ezzel kapcsolatban, itt elsősorban ezeket szeretném összefoglalni.

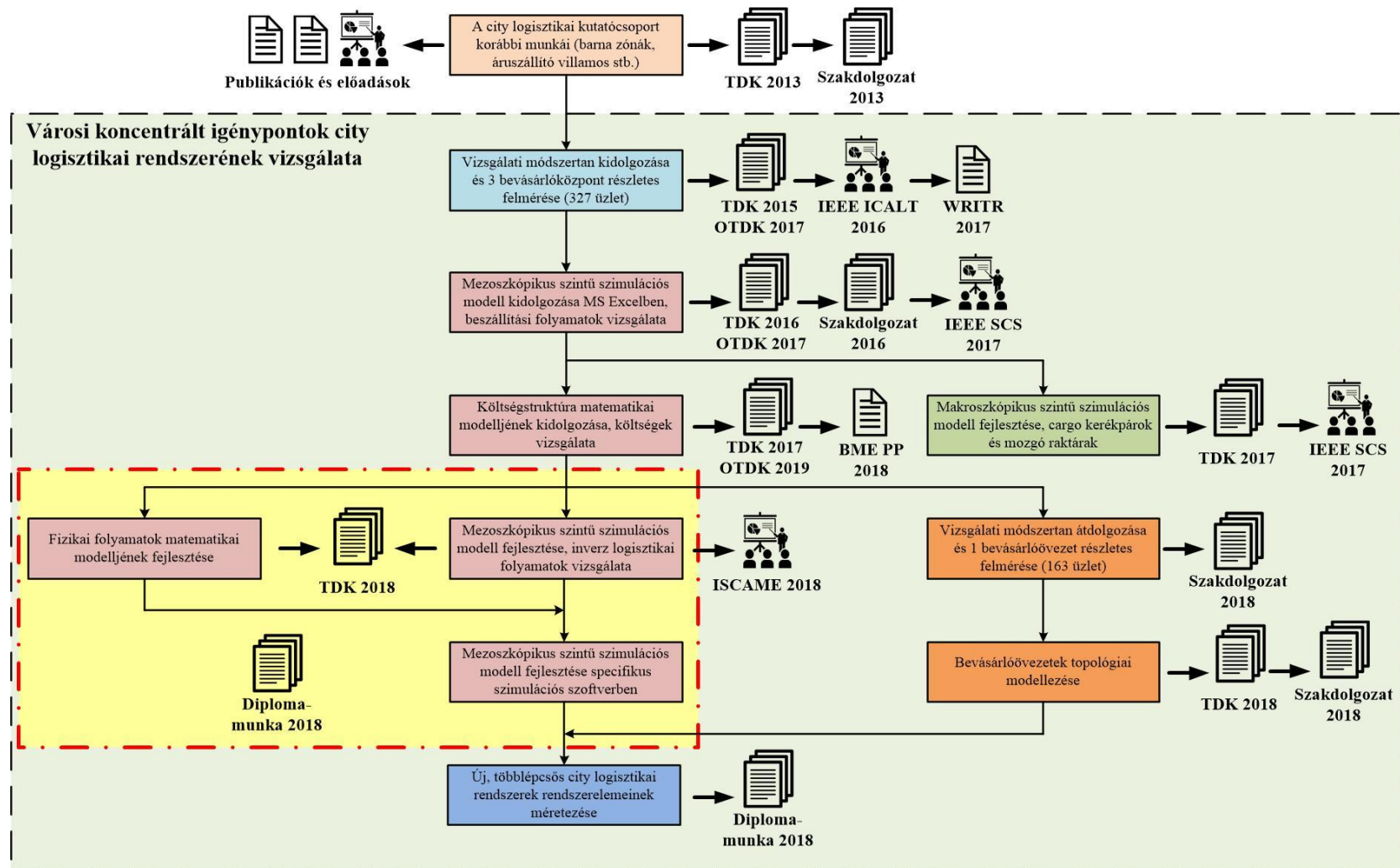
A modellezés első fázisáról TDK-dolgozat [27], szakdolgozat [28], egy angol nyelvű konferenciapublikáció [29], illetve egy magyar nyelvű összefoglaló cikk készült [30]. A modellezés első fázisában a beszállítások városhatáron belülre eső részeit modelleztük [27], majd bővítettük a modellt a beszállítások városon kívülre eső szakaszaival, illetve a költségek modellezésével [31] [32], végül pedig modelleztük az

inverz logisztikai folyamatokat is. A modellezés során fejlesztettem a folyamatok matematikai modelljét is, amely a diplomamunkának is fontos részét képezi, erről ebben a félévben egy TDK-dolgozat is készült [33]. A modellezés teljes folyamatát a következő fejezetekben részletesen bemutatom, kiindulva a modellezési célok bemutatásától, a matematikai modell felépítésén át a korszerű szimulációs eszköz kiválasztásáig és a modell abban történő felépítéséig.

2.5. További kapcsolódó kutatások

A témához kapcsolódóan néhány további kutatás is folyamatban van, valamint az ALRT city logisztikai kutatócsoportja számos kutatást végzett a korábbiakban is. Foglalkoztak a budapesti barnazónás területek vizsgálatával és hasznosítási lehetőségeivel [34], Budapest kötőtpályás hálózatának áruszállításban történő hasznosítási lehetőségeivel [35] (ehhez hasonlóan én is modellezem áruszállító villamos alkalmazását a bevásárlóközpontok áruellátási rendszerében a későbbiekben látható módon), a közös rakodóhelyek szerepével és fejlesztési lehetőségeivel [36], valamint költségek modellezésével is [37]. A koncentrált igénypont-halmazokkal kapcsolatos kutatásunkon belül foglalkozunk egy olyan háromlépcsős, gateway-koncepció alapú city logisztikai rendszer modellezésével, amelyben cargo kerékpárokat és mozgó raktárakat használunk egy geometriai modell alapú struktúra szerint, egy a város bevásárlóközpontjainak összességére kiterjedő, csak bizonyos meghatározott beszállításokat kezelő rendszerben. Ehhez készült egy makroszkópikus szintű szimulációs modell, amelynek alapja az előbb bemutatott modell. [38] [39]. A Váci utca bevásárlóövezet kapcsán fontos további feladat volt a topológiai modellezés, amely szintén megvalósult az elmúlt időszakban, ezzel kapcsolatban is készült egy TDK-dolgozat [26], valamint a félév során két BSc-s logisztikai mérnöki szakdolgozat is készül ehhez kapcsolódóan. Ez a topológiai modell fontos abból a szempontból, hogy a továbbiakban a Váci utca bevásárlóövezet logisztikai folyamatait is modellezhessük és szimulációs úton vizsgálhassuk.

A koncentrált igénypont-halmazokkal kapcsolatos kutatásunk eddigi fő lépéseit és eredménytermékeit (külön jelölve a TDK, illetve szakdolgozatokat, tudományos publikációkat és konferenciaelőadásokat/konferenciapublikációkat) a 2.7. ábra foglalja össze, sárga háttérrel emelve ki a diplomamunkám tartalmát. Az ábrán feltüntettük a kutatócsoport további tagjai által ebben a félévben jegyzett két BSc-s szakdolgozatot (Büki Aletta, illetve Kövér István Bence munkáját), valamint egy a kutatásunkhoz kapcsolódó MSc-s diplomatervet (Róka Ádám munkáját).



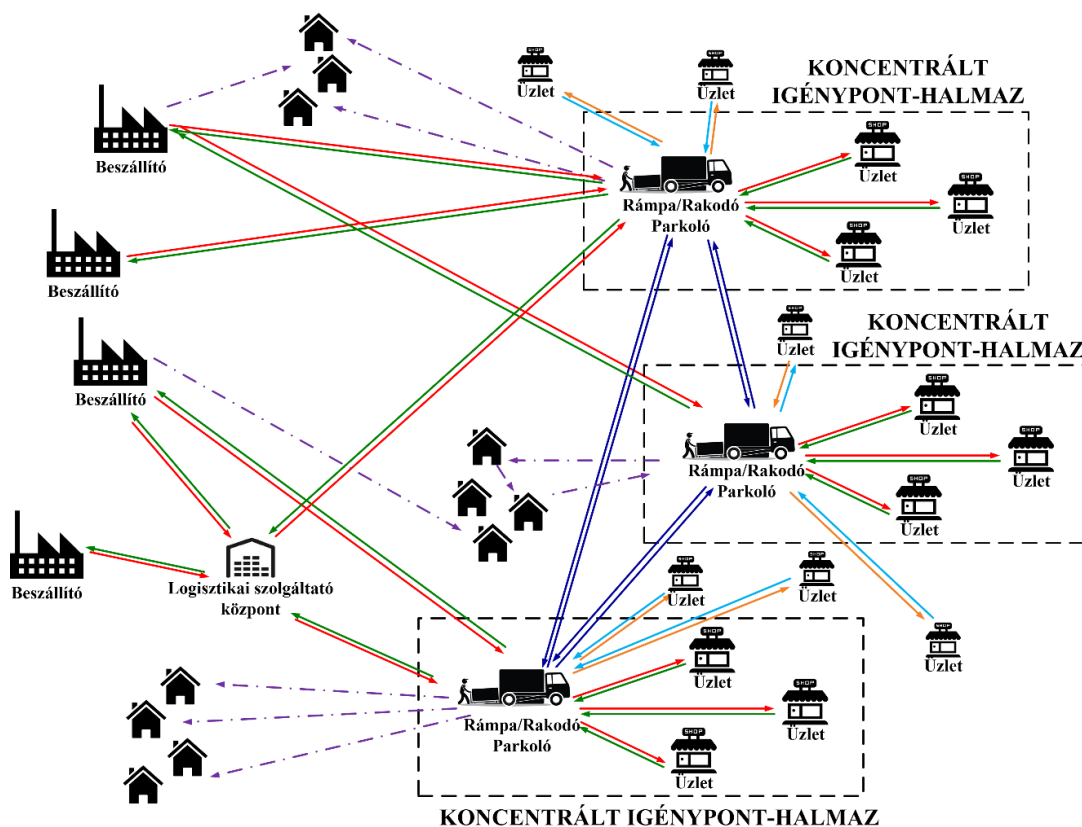
2.7. ábra: A városi koncentrált igénypont-halmazokkal kapcsolatos kutatás fő lépései és legfontosabb eredménytermékei

3. Modellfejlesztési irányok meghatározása

Ebben a fejezetben bemutatom a modellfejlesztés céljait. Ehhez elsőként bemutatom a jelenlegi rendszer felépítését, valamint a lehetséges rendszerkoncepciókat, amelyek közül kiválasztottam a modellezendő új rendszert. Ezt követően lefektetem a legfontosabb céljainkat, amelyek mentén a modellezés történik, végül pedig bemutatom a modellfejlesztési folyamatot.

3.1. Lehetséges rendszerkoncepciók bemutatása

A koncentrált igénypont-halmazok áruellátási rendszere jelenleg (a korábbi vizsgálatok eredményei alapján, elsősorban a bevásárlóközpontokra vonatkozó adatok alapján kidolgozva) a 3.1. ábrán látható módon alakul, a modellalkotás során ezt fogjuk jelenlegi rendszerként vizsgálni. Erre is szükséges lesz felépíteni mind a matematikai, mind pedig a szimulációs modellt, mivel a modellezett új rendszer megoldást a modellezett régi rendszerrel tudjuk majd összehasonlítani.

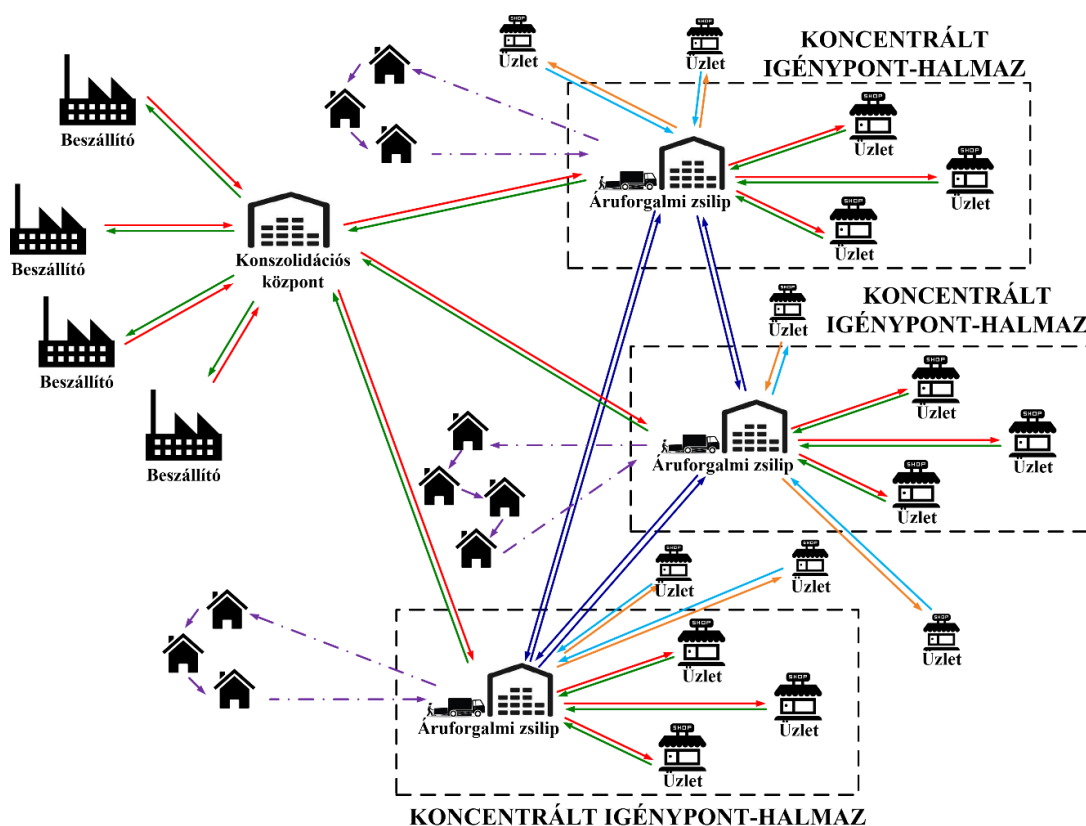


3.1. ábra: A koncentrált igénypont-halmazok jelenlegi áruellátási rendszere [33]

Látható, hogy a jelenlegi rendszerben számos különböző folyamat megkülönböztethető, a beszállítások lehetnek közvetlenek (jellemzően célfuvarosan), vagy beépülhet logisztikai szolgáltató ebbe a rendszerbe, és ezen az úton történnek az

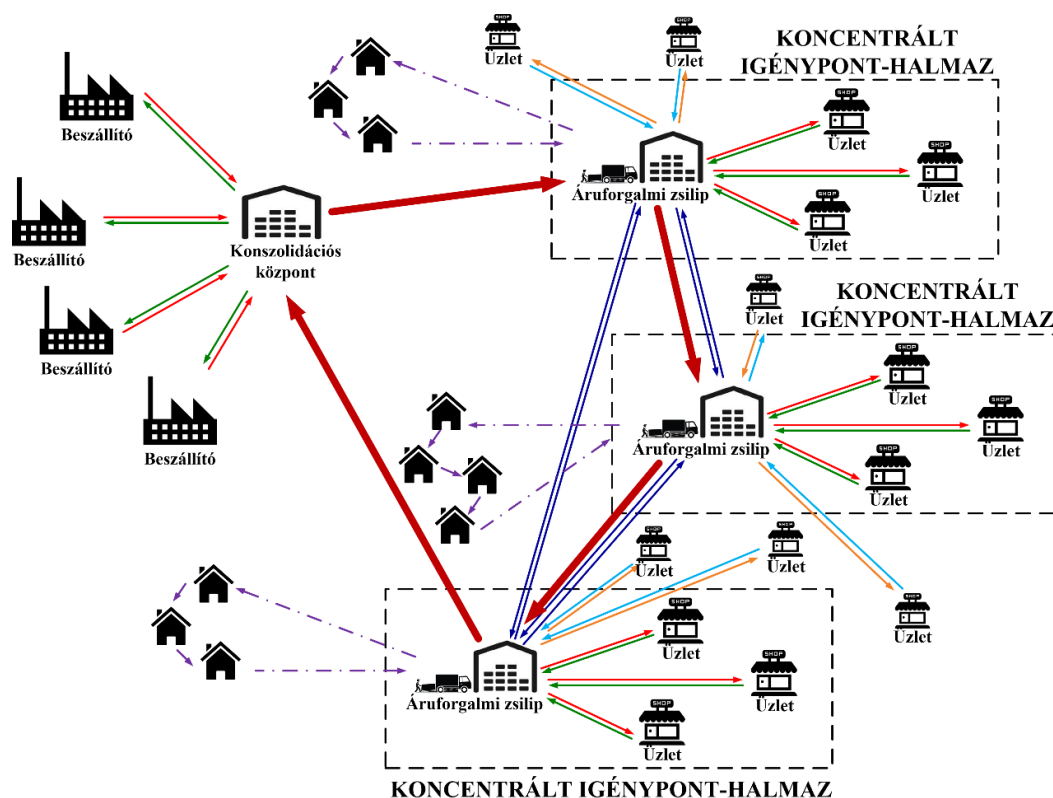
inverz logisztikai tranzakciók is (göngyölegkezelés, visszárukezelés). A koncentrált igénypont-halmazokon vegyesen történik az áru fogadása beszállítói udvarban, kijelölt közös vagy magán rakodóhelyen, parkolóban, illetve akár az utcán megállva is. Ezen felül megkülönböztetünk üzletek közötti szállításokat és házhozszállítási tranzakciókat is, ez utóbbiak szintén lehetnek célfuvaros vagy körjáratos szervezésűek.

A jelenlegi rendszerben minden folyamatot az üzletek (vagy azok logisztikai szolgáltatói) szerveznek külön, ezzel szemben érdemes lesz megvizsgálni a gateway koncepció alapú rendszereket, ahol konszolidációs központ (vagy központok) kerül a beszállítók és a koncentrált igénypont-halmazok közé, a beszállítói udvarokat, rámpákat, közös rakodókat pedig áruforgalmi zsilipekkel váltjuk ki. Két lehetséges megoldást vizsgálhatunk szervezési szempontból: kialakíthatjuk a koncentrált igénypont-halmazok áruellátási rendszerét célfuvarosan, illetve körjáratosan is. A 3.2. ábrán látható a célfuvaros megoldás, ekkor a konszolidációs központból egyesével szolgáljuk ki az egyes koncentrált igénypont-halmazokat (vagy azok valamilyen területi alapon szegmentált részeit). A konszolidációs központok és a koncentrált igényponti üzletek közötti folyamatokért minden új rendszerkoncepcióban egy city logisztikai szolgáltató felelős.



3.2. ábra: A koncentrált igénypont-halmazok áruellátási rendszerének lehetséges új, célfuvaros szervezésű megoldása [33]

Ugyanez megvalósítható tehát körjáratos jelleggel is, ekkor a koncentrált igénypont-halmazokat egymást követően, körjáratosan keressük fel, ez a megoldás látható a 3.3. ábrán.

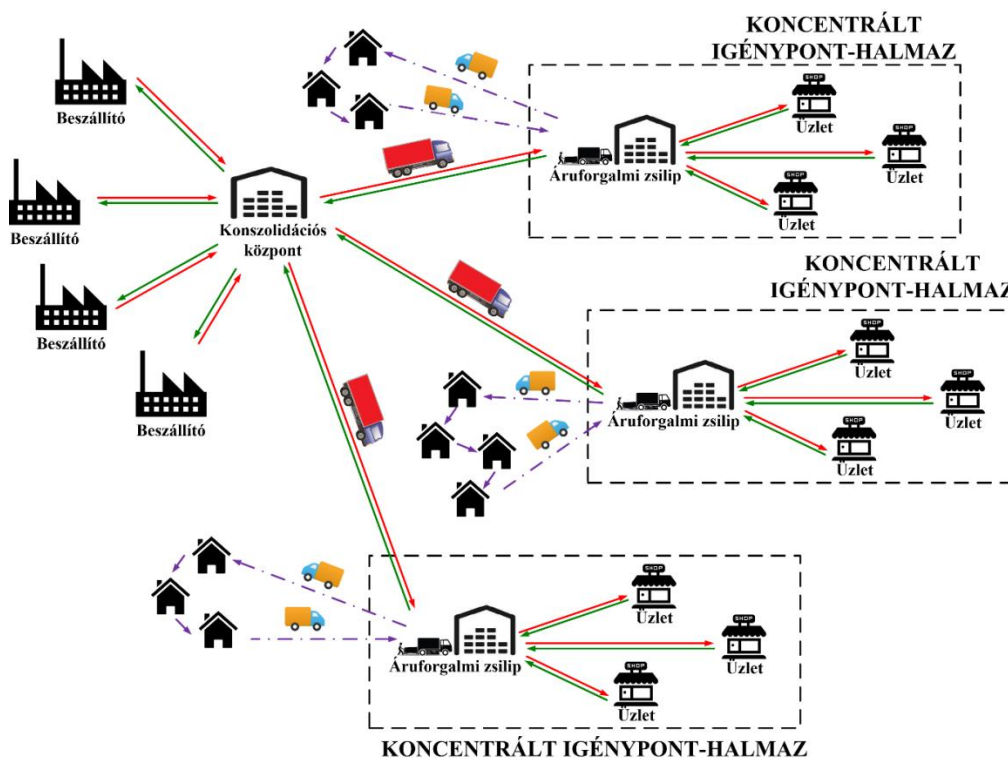


3.3. ábra: A koncentrált igénypont-halmazok áruellátási rendszerének lehetséges új, körjáratos szervezésű megoldása

Mivel a koncentrált igénypont-halmazokon nagyszámú üzlet található sok beszállítással (üzletenként napi közel 1 beszállítás történik), valamint a beszállított volumen is jelentős (178 üzlet részletes adatait vizsgálva várhatóan havi több, mint 1.300 t árut szállítunk be, ez napi átlagosan 250 kg árut jelent üzletenként), így a két fenti megoldásból a célfuvaros megoldás tűnik a legjobbnak [27] [28], mivel még több igénypont kiszolgálása esetén ez a mennyiség még sokszorosára nőhet (csak 21 bevásárlóközpontban több, mint 3000 üzlet található [23], a Váci utcában pedig további több, mint 400 [26]), így teljesítmények szempontjából ez lehet a legkedvezőbb a későbbiekben.

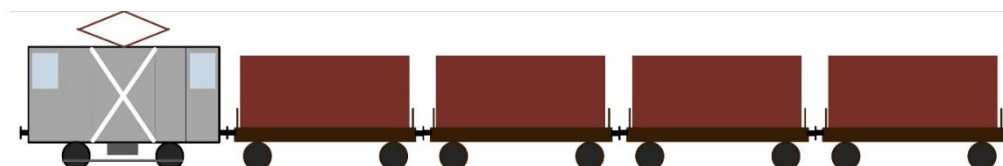
Az új rendszerben számos technológiai megoldás kínálkozik a konszolidációs központ és az igénypontok közötti folyamatok lebonyolítására. Alkalmazhatunk közúti járműveket (mint Padova, illetve Bristol esetében), közúti vasúti járműveket, azaz villamost, cargo hajókat (mint Utrecht esetében), illetve akár cargo kerékpárokat is. A beszállításokhoz az utóbbi esetet rögtön elvetettük, mivel lényegesen nagyobb

volumenéről van szó. A házhozszállítási tranzakciókat leginkább közúti járművekkel és cargo kerékpárokkal bonyolíthatjuk le, első lépésben előbbi megoldást fogom vizsgálni az egyszerűség kedvéért. Beszállítások szempontjából a közúti járművet alkalmazó megoldás a 3.4. ábrán látható.

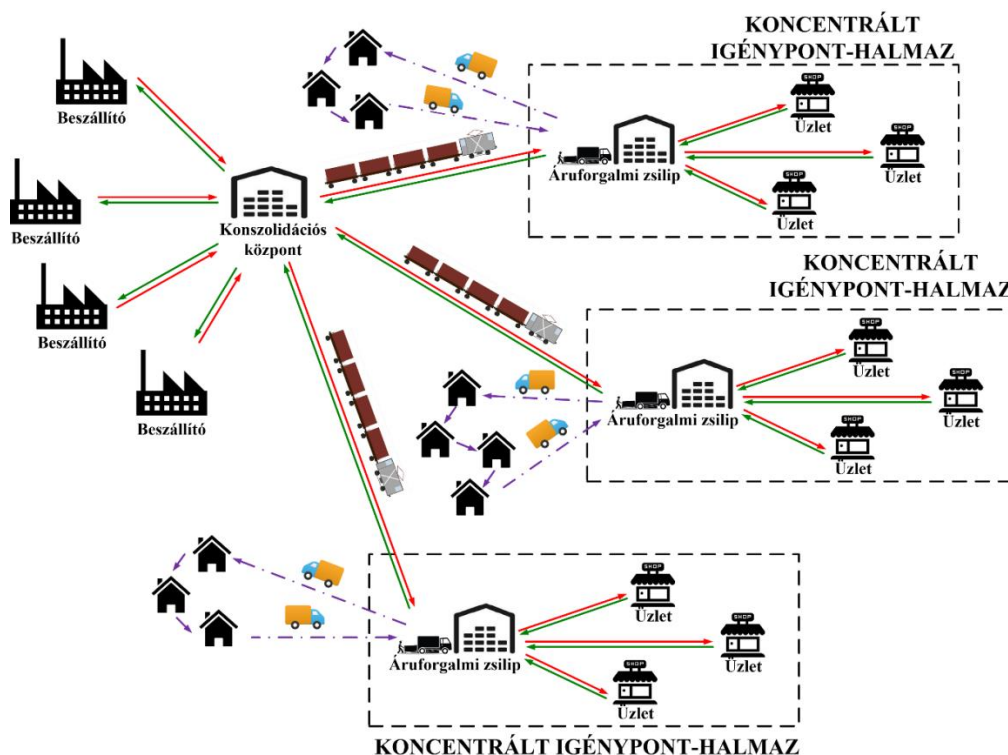


3.4. ábra: Új rendszerkonceptió kizárólag közúti járművek alkalmazásával

A közúti vasutat alkalmazó rendszerkonceptióban a közúti járművet egy az egyben villamossal váltom ki, ekkor a konszolidációs központ és a bevásárlóközpontok közötti szakaszon városi közúti vasúton végezzük a szállításokat, modellszerűen a 3.5. ábrán látható négykocsis, standard konténer méretű felépítménnyel rendelkező villamos szerelvényeket alkalmazva. Ekkor természetesen szükséges iparvágányok kiépítése is, a fő folyamatok azonban az előbbihez hasonlóak, csak a beszállítás módja változik. Ez a rendszerkonceptió a 3.6. ábrán látható.



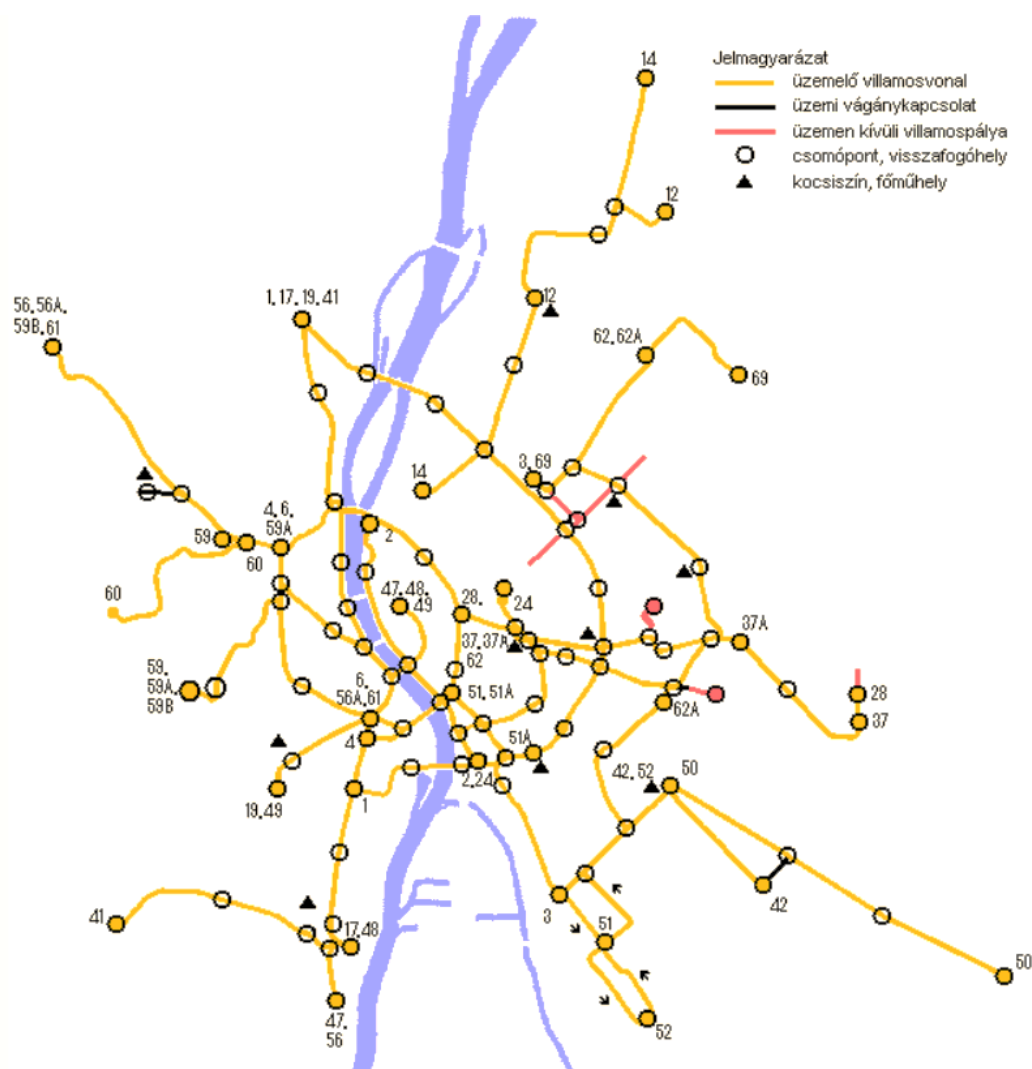
3.5. ábra: Közúti vasúti áruszállító szerelvény [28]



3.6. ábra: Új rendszerkonceptió koncentrált igénypont-halmazok ellátására villamos alkalmazásával [33]

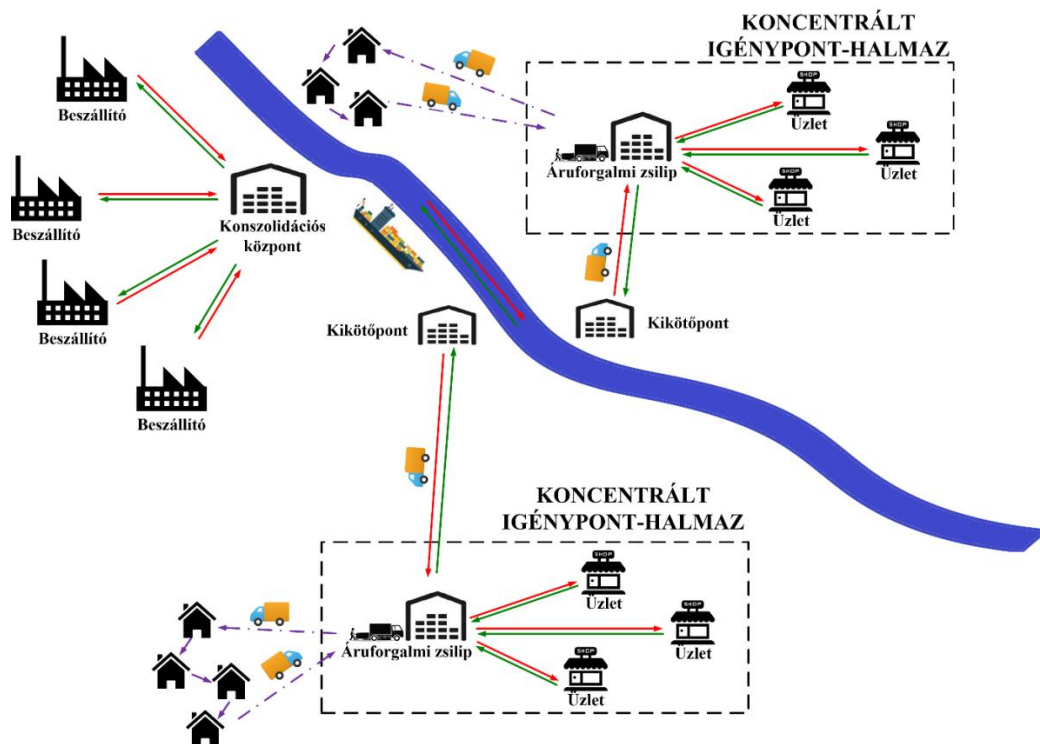
A tömegközlekedési térképeket áttekintve látható, hogy Budapest esetében nagyon jó a közúti vasúti lefedettség, számos villamosvonal van a városban a 3.7. ábrán látható módon. A budapesti villamoshálózat 147,4 km hosszú (1435 mm-es, a nagyvasúttal megegyező nyomtávolsággal), jelenleg 36 viszonylat működik ezen a hálózaton, összesen 341 megállóhellyel és 591 db járművel. A megengedett maximális sebesség 50 km/h [40]. Ezen felül további fejlesztések és új szakaszok építése is várható ezen a hálózaton, jelenleg is épül az 1-es villamosvonal új szakasza Kelenföld vasútállomásig és tervezik pl. a 3-as, 41-es és 42-es villamosvonalak meghosszabbítását, felmerült a Thököly úti villamosvonal újjáépítése és meghosszabbítása Újpalotáig, valamint új villamosvonal építése a 2-es metróvonal Pillangó utcai állomása és a Hungexpo közé [40].

A jó lefedettségéből adódóan a koncentrált igénypont-halmazok jelentős része is jól elérhető villamossal, csak rövidebb, az esetek nagy részében néhány 10-100 méteres iparvágány szakaszok kiépítésére lenne szükség, így ebben az esetben érdemes lehet tovább vizsgálni.



3.7. ábra: A budapesti villamoshálózat 2016-ban [41]

Harmadikként megvizsgálhatjuk azt, hogyan lenne lehetséges a városi vízi utakat, azaz esetünkben a Dunát bevonni a koncentrált igénypont-halmazok áruellátási rendszerébe, így pedig cargo hajókkal bonyolítani le a beszállítási folyamatokat. A Duna jelenleg ebből a szempontból kihasználatlan, azonban számos koncentrált igénypont-halmaz a folyam közelében található, így a kikötőpontokról kisebb közúti áruszállító járművekkel viszonylag gyorsan elérhető lenne. Ebben az esetben természetesen a konszolidációs központot nem a külső gyűrű, hanem a folyam mentén kell majd elhelyeznünk, de ez a megoldás is elősegíthetné a városi utak tehermentesítését, valamint a vízi utak jobb kihasználását is. Mivel a hajók esetében Duna-menti kikötőkre lesz szükség, ezért egy további lépcső beépítése szükséges a rendszerbe, a kikötőpontokról pedig közúti járművekkel történhet a koncentrált igénypont-halmazok ellátása a 3.8. ábrán látható módon.



3.8. ábra: Új rendszerkonceptió koncentrált igénypont-halmazok ellátására cargo hajó alkalmazásával

Mivel a cargo hajó alkalmazása szervezési szempontból összetettebb lenne, ezért azt első lépésben nem fogom vizsgálni. A modellezés során így három rendszerrel fogok dolgozni: a jelenlegi rendszerrel; az új rendszerrel tehergépkocsik alkalmazásával és az új rendszerrel áruszállító villamosok alkalmazásával.

A modellezés során így az alábbiak lesznek a fő céljaim:

- matematikai modell felépítése a jelenlegi rendszerre és az új rendszerkonceptiókra;
- MS Excel alapú szimulációs modell felépítése (3 bevásárlóközpont üzleteire) a jelenlegi és az új rendszerkonceptiókra a matematikai modell mellett;
- új szimulációs szoftver kiválasztása és abban a szimulációs modell felépítése (1 bevásárlóközpont üzleteire pilot jelleggel) a jelenlegi és a tehergépkocsit alkalmazó új rendszerkonceptióra a matematikai modell által leírt folyamatok alapján;
- eredmények elemzése a teljesítmény és költségparaméterek szempontjából.

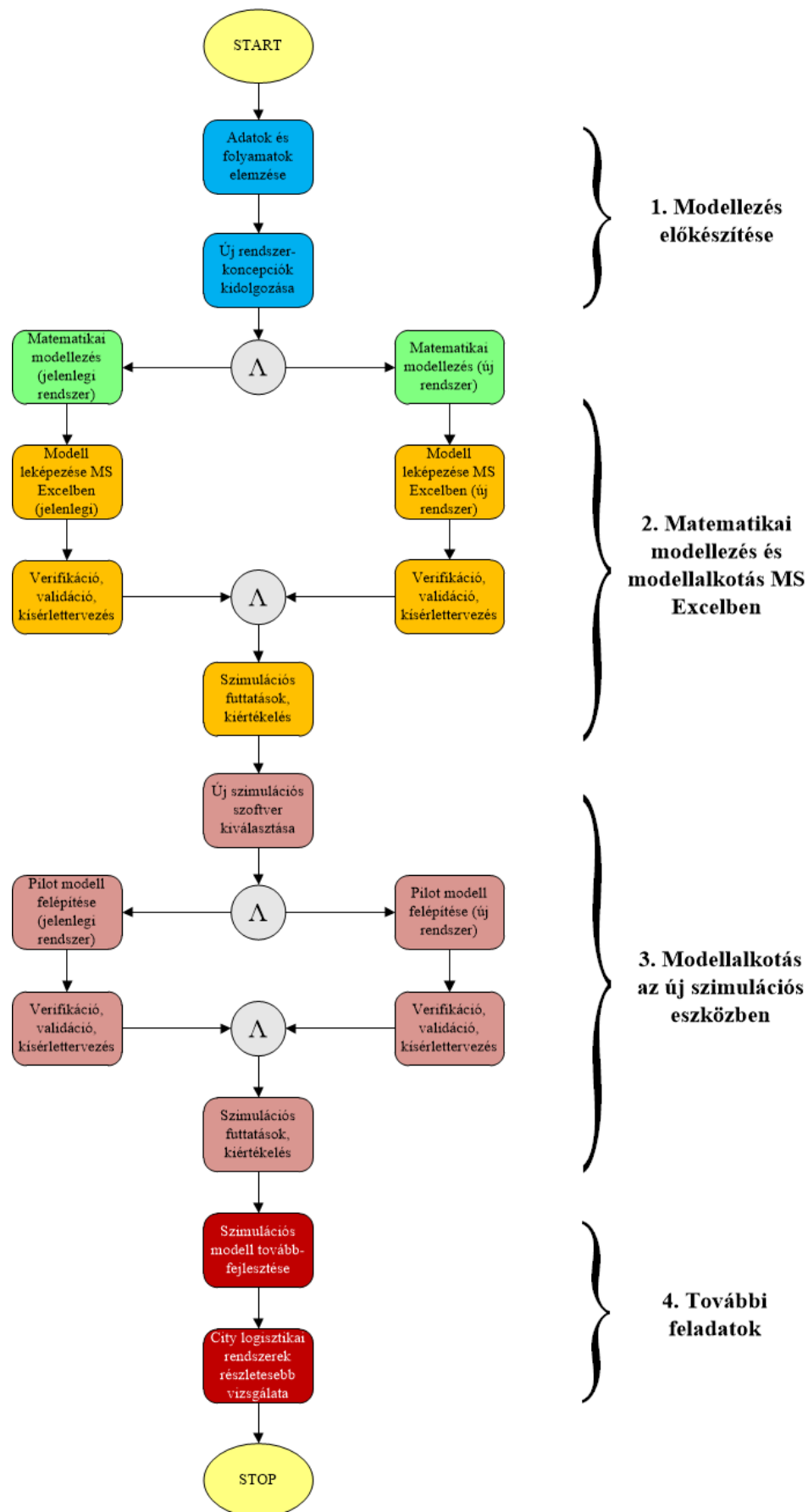
A következő fejezetben bemutatom a modellezési folyamatot.

3.2. Modellezési folyamat bemutatása

A modellezési folyamat során három fő modellezési feladatom volt: a matematikai modell kidolgozása (a jelenlegi rendszerre és a vizsgált új koncepciókra is), a matematikai modellt egy az egyben leképző MS Excel alapú mezoszkópikus szintű szimulációs modell fejlesztése, valamint a modellépítés egy specifikus, ellátási láncok szimulációjára kifejezetten alkalmas eszközben.

Az Excel alapú modell felépítését [28] [29] [33], valamint a költségstruktúra matematikai modellezését [31] [32] már a korábbiakban elkezdtem (2016-tól kezdve, mint azt az előbbi fejezetben bemutattam), a 4. fejezetben így elsősorban a matematikai modellt fogom bemutatni (kiegészítve az MS Excel alapú szimulációs modellre vonatkozó információkkal), majd az 5. fejezetben ismertetem a specifikus szimulációs eszközben történő modellezést. Az utóbbi fázisban az elsődleges cél a mezoszkópikus szintű szimulációs modell átültetése a kiválasztott korszerű szimulációs eszközbe a korábbiakban kidolgozott matematikai modell alapján. Az MS Excel alapú modellben 3 bevásárlóközpontból 178 üzlet folyamatait modelleztem, ugyanis ezekkel kapcsolatban állnak rendelkezésre megfelelő minőségű adatok. A specifikus szimulációs szoftverben első lépésben kevesebb üzlet folyamatait szeretném megvizsgálni pilot jelleggel, az új rendszerben csak közúti járművek alkalmazását vizsgálva, mivel a modellalkotás egy sokkal összetettebb folyamat ebben az esetben (a szimulációs eszköz komplexitásából adódóan), bonyolultabb módon fog összeállni a modell, azonban gyorsabb futásra, valamint megjelenítésre is alkalmas lesz a terveim szerint, diplomamunkámnak pedig a matematikai modell mellett ez lesz a fő eredményterméke.

A modell tesztelése után ezzel az eszközzel is szeretnék kísérleteket végrehajtani, így az 5. fejezet végén értékelni tudom az MS Excel alapú modell használatával 178 üzlet folyamataira vonatkozó részletes eredményeinket (a jelenlegi rendszerben, illetve a 2 vizsgált új rendszerkonceptióban), valamint az új modell használatával pilot rendszer-szerűen, kevesebb üzletet vizsgálva kapott eredményeinket is (a jelenlegi rendszerben és a közúti járművet alkalmazó új rendszerben). A célom az, hogy ez a szimulációs modell a jövőben a megfelelő adatokat felhasználva alkalmas legyen bármely koncentrált igénypont-halmaz jelenlegi és új city logisztikai rendszerének folyamatainak vizsgálatára. A 3.9. ábrán látható a tervezett modellezési és szimulációs folyamat. A folyamatábrán a különböző színek megkülönböztetik a modellezés fő fázisait. A következő fejezetekben e fázisok szerint fogom bemutatni az eredményeket.



3.9. ábra: A modellezési folyamat

4. Matematikai modell fejlesztése

Ebben a fejezetben részletesen bemutatom a koncentrált igénypont-halmazok logisztikai folyamatainak matematikai modelljét. Ezzel együttesen került kidolgozásra az MS Excel alapú szimulációs modell, amely egy az egyben leképezi a matematikai modellt, lehetővé téve a folyamatok vizsgálatát. Az MS Excelben felépített modell ugyan lassú és nem alkalmas megjelenítésre, azonban ez az eszköz volt a legjobban elérhető, illetve ebben lehetett leggyorsabban leképezni, majd verifikálni és validálni a modellt.

Az áruszállítási folyamatok matematikai modelljének felírásához először elő kellett készítenem a bemeneti adatokat, azok jelöléseit és mértékegységeit tartalmazó táblát, ez a 2. mellékletben található. A matematikai modellt külön fogom felírni a jelenlegi rendszerre és a vizsgált új rendszerre, a matematikai formulákban pedig a mellékletben bemutatott jelöléseket alkalmazom, mértékegységeik pedig minden esetben az SI-mértékegységek. A legfontosabb pontokon a matematikai modellt illusztrálom a szimulációs modell adott modellkomponenst megvalósító elemével is. Fontos kiemelni azt, hogy az MS Excel alapú modellben pontosan a matematikai modellben felírt folyamatok kerülnek megvalósításra.

4.1. Az áruszállítási folyamatok matematika modellje a jelenlegi rendszer esetén

A jelenlegi rendszer esetén a matematikai modellt két részre bontva mutatom be: először a beszállítási folyamatok, majd az inverz logisztikai folyamatok matematikai modelljét. A jelenlegi rendszer modellje alapvetően órás bontású (az új rendszer modellje a más jellegű, konszolidált struktúra miatt napi bontásban dolgozik), bizonyos elemei azonban napi bontásúak.

4.1.1. Beszállítási folyamatok matematikai modellje a jelenlegi rendszerben

A modell alapeleme a beszállítás-generátor, amely azt mutatja meg, hogy adott beszállítási tranzakció mikor valósul meg. A beszállítás-generátor első része azt határozza meg, hogy adott napon lesz-e beszállítás a vizsgált koncentrált igénypont-halmaz adott üzletébe, második komponense pedig megmutatja, hogy adott napon belül mely órában valósul meg a beszállítás.

Ekkor $x_{i,j}$ az a változó, amely megmutatja, hogy a j . napon megvalósulhat-e az i . típusú beszállítási tranzakció (amely egy adott üzlethez tartozik, de egy üzlethez

tartozhat több különböző beszállítási tranzakció is). A beszállítási napok száma ekkor:
 $N_i^{\text{sup_day}} = \min\{N_i^{\text{max(month)}}; 30\}$, $r_{i,j}$ 0 és 1 közötti egyenletes eloszlású véletlen szám,
 $q_i = \frac{N_i^{\text{sup_day}}}{30}$ pedig az adott beszállításhoz tartozó valószínűségi érték.

$$x_{i,j} = \begin{cases} 0, ha \sum_{k=1}^{j-1} x_{i,k} = N_i^{\text{sup_day}} \\ 0, ha x_{i,j-1} = 1 \text{ és } N_i^{\text{sup_day}} < 7 \\ 0, ha \sum_{k=1}^{j-1} x_{i,k} < N_i^{\text{sup_day}} \text{ és } r_{i,j} \geq q_i \\ 1, ha \sum_{k=1}^{j-1} x_{i,k} < N_i^{\text{sup_day}} \text{ és } r_{i,j} < q_i \end{cases}$$

Az MS Excel szimulációs modell napi beszállítás-generátor munkalapja a 4.1. ábrán látható, ez a szimulációs modell fő komponense, ez alapján dolgozik a továbbiakban.

4.1. ábra: Az MS Excel alapú szimulációs modell napi beszállítás-generátor munkalapja

A beszállítás-generátor második komponensében $x_{i,j}^l$ azt mutatja meg, hogy a j. nap l. órájában megvalósul-e az i. típusú beszállítási tranzakció, $R_{i,j}^l$ 0 és 1 közötti egyenletes eloszlású véletlen szám, Q_i pedig az adott beszállításhoz tartozó valószínűség:

$$Q_i = \max\left\{0,5; \min\left\{\frac{N_i^{\text{max(day)}}}{TW_i^{SM(UL)} + 1 - TW_i^{SM(LL)}}; 1\right\}\right\}$$

Az adott órában csak akkor lehet beszállítás, ha a generátor első komponense azt mutatja, hogy az adott napon lehet beszállítási tranzakció.

$$x_{i,j}^l = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ ha } \left\{ \begin{array}{l} x_{i,j} = 1 \\ TW_i^{SM(UL)} \leq k \\ TW_i^{SM(LL)} \geq k \\ \sum_{k=1}^{l-1} x_{i,j}^k < N_i^{\max(day)} \\ \sum_{h=1}^{j-1} \sum_{g=1}^{24} x_{i,h}^g + \sum_{k=1}^{l-1} x_{i,j}^k < N_i^{\max(month)} \\ R_{i,j}^l < Q_i \end{array} \right. \\ 0, \text{ különben} \end{array} \right.$$

A beszállítás-generátor második komponensét megvalósító munkalap az MS Excel alapú szimulációs modellben a 4.2. ábrán látható.

4.2. ábra: Az MS Excel alapú szimulációs modell órás beszállítás-generátor munkalapja

A beszállítási tranzakciókhoz tartozó, a j. nap 1. órájában az adott i. típusú beszállítási tranzakció során beszállított árutömeg ekkor $M_{i,j}^l$:

$$M_{i,j}^l = \left\{ \begin{array}{l} n_i^{box} * \left(m_i^{box(min)} + R_{i,j}^l * \left(m_i^{box(max)} - m_i^{box(min)} \right) \right) + \\ n_i^{pal} * \left(m_i^{pal(min)} + R_{i,j}^l * \left(m_i^{pal(max)} - m_i^{pal(min)} \right) \right) + \\ n_i^{oth} * \left(m_i^{oth(min)} + R_{i,j}^l * \left(m_i^{oth(max)} - m_i^{oth(min)} \right) \right), \text{ ha } x_{i,j}^l = 1 \\ 0, \text{ különben} \end{array} \right.$$

Ezeket összegezve megkapjuk a vizsgált koncentrált igénypont-halmazhoz tartozó i. típusú beszállítási tranzakció (vagy tranzakciók) során a j. napon beszállított árutömeget:

$$M_{i,j} = \sum_{j=1}^{24} M_{i,j}^l$$

Ebből a beszállított tömeggel arányosan számítható az i . típusú beszállítási tranzakció során a j . napon beszállított árutérfogat:

$$V_{i,j} = \begin{cases} \frac{M_{i,j}}{\sum_{k=1}^{24} x_{i,j}^k * (m_i^{box(max)} + m_i^{pal(max)} + m_i^{oth(max)})} * \\ * \sum_{k=1}^{24} x_{i,j}^k * (n_i^{box} * V_i^{box(max)} + n_i^{pal} * V_i^{pal(max)} + n_i^{oth} * V_i^{oth(max)}) , ha x_{i,j} = 1 \\ 0, különben \end{cases}$$

Az i . típusú beszállítási tranzakcióhoz tartozó, j . napi anyagmozgatási időszükséglet ekkor a beszállítónál, a kezelendő árumennyiség és fajlagos árukezelési időszükségletek alapján számítva, figyelembe véve a később bemutatásra kerülő, az adott beszállítás által generált göngyölegkezelés időszükségletét is:

$$T_{i,j}^{besz} = \begin{cases} \left(\begin{aligned} & \max \left\{ \left\lceil \frac{M_{i,j}}{m_i^{mh_max(SUP)}} \right\rceil * t_i^{load_up(SUP)}; \right. \\ & \left. \left\lceil \frac{V_{i,j}}{V_i^{mh_max(SUP)}} \right\rceil * t_i^{load_up(SUP)} \right\} + \\ & + \max \left\{ \left\lceil \frac{M_{i,j}^{empty}}{m_i^{mh_max(SUP)}} \right\rceil * t_i^{load_down(SUP)}; \right. \\ & \left. \left\lceil \frac{V_{i,j}^{empty}}{V_i^{mh_max(SUP)}} \right\rceil * t_i^{load_down(SUP)} \right\} \end{aligned} \right) , ha x_{i,j} = 1 \\ 0, különben \end{cases}$$

A j . nap készlete (amely az i . típusú beszállítási tranzakciókhoz tartozik) a beszállítónál:

$$K_{i,j}^{SUP} = K_{i,j-1}^{SUP} + M_{i,j+1} - M_{i,j}$$

Az ehhez tartozó, vizsgált (egy hónapos) időszakai nyitókészletet a modellben ekkor az SS alapmodell [42] szerint számolom, ahol U_i^{SUP} a biztonsági tényező normális eloszlás szerint, $D(M_{i,j})$ pedig a beszállított árutömeg szórása.

$$K_{i,0}^{SUP} = U_i^{SUP} * \sqrt{D(M_{i,j})} + \sum_{k=1}^3 M_{i,k}$$

A j . nap 1. órájában érkező i . típusú beszállításhoz tartozó, a városon belül megtett út:

$$S_{i,j}^{l,city} = \begin{cases} s_i^{city(c)}, ha x_{i,j}^l = 1 \text{ és városon belülről indult a szállítás} \\ s_i^{land(c)}, ha x_{i,j}^l = 1 \text{ és városon kívülről indult a szállítás} \\ 0, különben \end{cases}$$

A j . nap 1. órájában érkező i . típusú beszállításhoz tartozó, a városon kívül megtett út hasonlóan:

$$S_{i,j}^{l,land} = \begin{cases} S_i^{land(l)}, & \text{ha } x_{i,j}^l = 1 \text{ és városon kívülről indult a szállítás} \\ 0, & \text{különben} \end{cases}$$

Ekkor j. nap 1. órájában a városon belüli, illetve a városon kívüli szállítási teljesítmény a megtett útból és a szállított árutömegből számolva:

$$Q_{i,j}^{l,city} = S_{i,j}^{l,city} * M_{i,j}^l$$

$$Q_{i,j}^{l,land} = S_{i,j}^{l,land} * M_{i,j}^l$$

A j. napon az i. típusú beszállítási tranzakcióhoz tartozó üzemanyag fogyasztás (benzin- vagy gázolajfogyasztás a megadott járműtől függően, a ritkább előfordulású üzemanyagokkal nem foglalkoztam a modellezés során) az i. típusú beszállítási tranzakciók során, a megtett útból és az adott járműhöz tartozó fajlagos fogyasztásból számítva:

$$F_{i,j}^{SUP} = F_i^{SUP} * \left(\sum_{l=1}^{24} S_{i,j}^{l,city} + S_{i,j}^{l,land} \right)$$

Az MS Excel alapú szimulációs modell üzemanyag fogyasztást számító munkalapja a 4.3. ábrán látható, ez a komponens a járművekről rendelkezésre álló össztömeg adatok alapján rendel meghajtást és fogyasztást az egyes beszállítási tranzakciókhoz.

SUM		=HA(TRANSPORTS (DAY)117;-1;SUMHATOB('DISTANCE (L)'15G17:SAAX17;'DISTANCE (L)'15G52:SAAX52;'CONSUMPTION (C)'15S22)*HA(16;-0,5,1;';INPUT1SCN520;FKERES16;INPUT1SCM522:SCN525;2))/100;																
A	B	C	D	E	F	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	
1	Transport informations					Consumption [l petrol; l fuel oil]												
2	Mall ID	Supplier ID	Shop ID	SKU ID	Size of vehicle	Fuel	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
8	SM001	SUP0006	SH0006	SKU006	3,5-7,5 t	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	SM001	SUP0007	SH0007	SKU006	1,5-3,5 t	D	0	0	0	5,301	5,301	0	5,301	5,301	0	0	0	0
10	SM001	SUP0008	SH0008	SKU003	1,5-3,5 t	D	34,2	34,2	34,2	34,2	34,2	34,2	34,2	34,2	34,2	34,2	34,2	34,2
11	SM001	SUP0009	SH0009	SKU003	1,5-3,5 t	D	0	0	0	11,058	0	11,058	0	11,058	0	11,058	0	0
12	SM001	SUP0010	SH0010	SKU003	1,5-3,5 t	D	0	0	0	0	2,793	0	0	0	0	0	0	0
13	SM001	SUP0011	SH0011	SKU001	3,5-7,5 t	D	11,39	11,39	11,39	0	11,39	0	11,39	11,39	0	11,39	11,39	11,39
14	SM001	SUP0012	SH0012	SKU001	1,5-3,5 t	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	SM001	SUP0013	SH0013	SKU003	1,5-3,5 t	D	0	0	0	0	13,623	0	0	0	0	0	0	0
16	SM001	SUP0014	SH0014	SKU002	1,5-3,5 t	D	23,598	0	7,866	7,866	=HA(TI	15,732	15,732	7,866	0	7,866	7,866	7,866
17	SM001	SUP0015	SH0015	SKU007	0-1,5 t	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	SM001	SUP0016	SH0016	SKU001	1,5-3,5 t	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	SM001	SUP0017	SH0017	SKU003	3,5-7,5 t	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	SM001	SUP0018	SH0018	SKU007	0-1,5 t	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	SM001	SUP0019	SH0019	SKU004	1,5-3,5 t	D	0	0	0	0	0	0	9,747	0	0	0	0	0
22	SM001	SUP0020	SH0020	SKU005	7,5-12 t	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,224
23	SM001	SUP0021	SH0021	SKU003	3,5-7,5 t	D	0,067	0,067	0	0,067	0	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067

4.3. ábra: Városon kívüli üzemanyag fogyasztást számító Excel-munkalap a jelenlegi rendszer szimulációs modellje esetén

A j. napon ekkor az i. típusú beszállítási tranzakcióhoz tartozó, az üzemanyag fogyasztásból és az adott beszállító járműhöz megállapított fajlagos kibocsátási értékekből számított káros anyag kibocsátás a beszállítások során 5 különböző káros anyagot vizsgálva:

$$\begin{aligned}
K_{i,j}^{CO(SUP)} &= K_i^{CO(SUP)} * \left(\sum_{l=1}^{24} S_{i,j}^{l,city} + S_{i,j}^{l,land} \right) \\
K_{i,j}^{CO_2(SUP)} &= K_i^{CO_2(SUP)} * \left(\sum_{l=1}^{24} S_{i,j}^{l,city} + S_{i,j}^{l,land} \right) \\
K_{i,j}^{HC(SUP)} &= K_i^{HC(SUP)} * \left(\sum_{l=1}^{24} S_{i,j}^{l,city} + S_{i,j}^{l,land} \right) \\
K_{i,j}^{NO_x(SUP)} &= K_i^{NO_x(SUP)} * \left(\sum_{l=1}^{24} S_{i,j}^{l,city} + S_{i,j}^{l,land} \right) \\
K_{i,j}^{PM(SUP)} &= K_i^{PM(SUP)} * \left(\sum_{l=1}^{24} S_{i,j}^{l,city} + S_{i,j}^{l,land} \right)
\end{aligned}$$

A j. napi anyagmozgatási idősükséglet a vizsgált koncentrált igénypont-halmaz árufogadásra kijelölt logisztikai területén (bevásárlóközpont esetén beszállítói udvar vagy parkoló, bevásárlóövezet esetén közös rakodóhely vagy parkoló), valamint a logisztikai terület és a vizsgált üzlet között, a kezelendő árumennyiségből és az adott beszállítási tranzakcióhoz tartozó fajlagos árukezelési idősükségletből számítva (figyelembe véve a később bemutatásra kerülő kezelendő göngyöleget és a házhozszállítás során kezelendő árumennyiséget is):

$$\begin{aligned}
T_{i,j}^{CDP} = & \max \left\{ \left[\frac{M_{i,j}}{m_i^{mh_max(CDP)}} \right] * t_i^{load(CDP)}; \left[\frac{V_{i,j}}{V_i^{mh_max(CDP)}} \right] * t_i^{load(CDP)} \right\} + \\
& + \max \left\{ \left[\frac{M_{i,j}^{empty}}{m_i^{mh_max(CDP)}} \right] * t_i^{load(CDP)}; \left[\frac{V_{i,j}^{empty}}{V_i^{mh_max(CDP)}} \right] * t_i^{load(CDP)} \right\} \\
& + \max \left\{ \left[\frac{M_{i,j}^{hd}}{m_i^{mh_max(CDP)}} \right] * t_i^{load(CDP)}; \left[\frac{V_{i,j}^{hd}}{V_i^{mh_max(CDP)}} \right] * t_i^{load(CDP)} \right\}
\end{aligned}$$

Az i. típusú beszállítási tranzakcióhoz tartozó árukkal kapcsolatos, j. napi vevői igények ekkor az alábbiak az adott napi árumennyiség várható értékéből számítva, ahol $r_{i,j}$ 0 és 1 között egyenletes eloszlású véletlen szám:

$$D_{i,j}^M = \left\{ \begin{aligned} & \frac{\sum_{k=1}^{30} M_{i,k}}{30} * \frac{8 + r_{i,j} * (12 - 8)}{10}, \text{ ha } \sum_{j=1}^{30} \sum_{l=1}^{24} x_{i,j}^l > 0 \\ & \sum_{k=1}^{24} x_{i,j}^k * \frac{(n_i^{box} * m_i^{box(min)} + n_i^{pal} * m_i^{pal(min)} + n_i^{oth} * m_i^{oth(min)})}{30}, \text{ különben} \end{aligned} \right\}$$

A j. nap, az i. beszállítási tranzakcióhoz tartozó árukkal kapcsolatos készlete az üzletben ekkor, figyelembe véve a vevői igényeket is:

$$K_{i,j}^{SH} = \max\{0; K_{i,j-1}^{SH} + M_{i,j} - D_{i,j}^M\}$$

Ebből látható, hogy a modellben a készlet nem csökkenhet 0 alá, azaz nem értelmezünk készlethiányt a koncentrált igénypont-halmazok üzleteiben (ha valamely igényt nem tudjuk kielégíteni, az elveszik).

Az ehhez tartozó nyitókészlet a modellben így ismét az SS alapmodell szerint számolva, a kapott értékeket a vevői igények szerint korrigálva (a korrekció mértékét kísérleti úton állítottam be a modellépítés során), ahol U_i^{SH} biztonsági tényező normális eloszlás szerint, $D(D_{i,j}^M)$ pedig a vevői igények szórása.

$$K_{i,0}^{SH} = U_i^{SH} * \sqrt{D(D_{i,j}^M)} + 2 * \left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^3 D_{i,k}^M, ha \sum_{k=1}^{30} x_{i,k} = 0 \\ \frac{\sum_{k=1}^3 D_{i,k}^M}{\sum_{k=1}^{30} x_{i,k}}, különben \end{array} \right\}$$

Az adott beszállítási tranzakcióhoz tartozó készletet számító munkalap az MS Excel alapú szimulációs modellben a 4.4. ábrán látható. A készletek számítását megvalósító munkalap minden további készletezési ponton hasonlóan épül fel.

Transport information				Safety Stock	Opening stock	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SM001	SUP0001	SH0001	SKU006	0.7	7.0	6.9	6.6	6.3	6.0	5.6	5.3	8.0	7.7	7.3	7.0
SM001	SUP0002	SH0002	SKU005	2.4	64.8	90.7	87.2	82.0	78.1	74.2	86.7	82.8	79.4	75.5	72.0
SM001	SUP0003	SH0003	SKU003	3.3	49.6	49.4	42.6	67.7	62.7	55.9	77.9	72.3	64.9	58.7	51.9
SM001	SUP0004	SH0004	SKU002	9.4	136.8	172.8	205.8	255.6	254.1	272.6	283.2	305.2	321.8	333.5	348.2
SM001	SUP0005	SH0005	SKU002	3.4	110.4	110.2	151.9	144.1	137.7	130.0	171.5	165.8	201.2	193.4	185.6
SM001	SUP0006	SH0006	SKU006	10.5	1411.7	1409.6	2117.0	2061.4	1977.8	1915.2	1845.6	1776.0	1713.4	1629.8	1567.2
SM001	SUP0007	SH0007	SKU006	10.9	678.7	990.4	911.9	849.2	755.1	684.5	621.7	559.0	488.4	394.3	323.7
SM001	SUP0008	SH0008	SKU003	13.5	241.1	359.0	368.1	384.0	410.0	444.1	457.1	501.2	470.5	486.7	462.4
SM001	SUP0009	SH0009	SKU003	1.8	19.5	22.4	20.3	28.2	25.4	21.4	18.9	16.1	13.5	11.2	
SM001	SUP0010	SH0010	SKU003	6.6	423.2	519.5	494.4	472.1	447.0	424.7	394.1	360.6	335.5	304.9	282.6
SM001	SUP0011	SH0011	SKU001	31.7	2072.2	3135.9	3141.2	3275.5	3934.8	3898.2	3100.6	3708.0	4540.3	4279.7	4473.5
SM001	SUP0012	SH0012	SKU001	21.7	622.4	726.8	562.3	644.3	652.5	747.9	660.2	738.6	496.1	546.6	587.7
SM001	SUP0013	SH0013	SKU003	7.4	352.3	351.1	311.0	274.9	379.8	562.7	518.6	474.4	430.3	386.2	346.1
SM001	SUP0014	SH0014	SKU002	6.8	70.0	105.1	105.2	93.5	95.7	92.8	108.2	108.4	104.5	103.8	110.0
SM001	SUP0015	SH0015	SKU007	1.4	18.1	18.1	16.8	29.8	28.4	27.4	26.3	25.2	26.8	25.8	24.6
SM001	SUP0016	SH0016	SKU001	57.4	3957.9	4830.2	5636.1	5151.7	4448.6	5469.2	5254.8	4504.6	6108.2	6028.1	4776.7

4.4. ábra: Az üzletek (beszállítási tranzakciókhoz tartozó) készletét számító Excel-munkalap a jelenlegi rendszer esetén

Az i . beszállítási tranzakcióhoz tartozó árukkal kapcsolatos, j . napi anyagmozgatási időszükséglet az üzletben, figyelembe véve a kezelendő árumennyiséget (valamint a később bemutatásra kerülő kezelendő göngyöleg- és házhoz szállítandó árumennyiséget), valamint a fajlagos árukezelési időigényeket:

$$T_{i,j}^{SH} = \left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \left\lfloor \frac{M_{i,j}}{m_i^{mh_max(SH)}} \right\rfloor * (t_i^{load_down(SH)} + t_i^{mh(SH)}); \right. \\ \left. \left\lfloor \frac{V_{i,j}}{V_i^{mh_max(SH)}} \right\rfloor * (t_i^{load_down(SH)} + t_i^{mh(SH)}) \right\} + \\ \max \left\{ \left\lfloor \frac{D_{i,j}^M}{m_i^{mh_max(SH)}} \right\rfloor * t_i^{load_up(SH)}; \left\lfloor \frac{D_{i,j}^V}{V_i^{mh_max(SH)}} \right\rfloor * t_i^{load_up(SH)} \right\} + \\ \max \left\{ \left\lfloor \frac{M_{i,j}^{empty}}{m_i^{mh_max(SH)}} \right\rfloor * t_i^{load_up(SH)}; \left\lfloor \frac{V_{i,j}^{empty}}{V_i^{mh_max(SH)}} \right\rfloor * t_i^{load_up(SH)} \right\} + \\ \max \left\{ \left\lfloor \frac{M_{i,j}^{hd}}{m_i^{mh_max(SH)}} \right\rfloor * t_i^{load_up(SH)}; \left\lfloor \frac{V_{i,j}^{hd}}{V_i^{mh_max(SH)}} \right\rfloor * t_i^{load_up(SH)} \right\} \end{array} \right\}$$

A fajlagos anyagmozgatási időszükséglet tartalmazza az adott feladathoz esetlegesen tartozó göngyölegkezelési feladatot is (azaz raklapos egységgrakomány beérkezése esetén az üzletből a beszállítói udvarig tartó üres félciklus helyett egy üres raklapot szállító félciklusról beszélhetünk).

4.1.2. Inverz logisztikai folyamatok matematikai modellje a jelenlegi rendszer esetén

Az előbbieken egyértelmű volt, hogy a beszállítási tranzakciók minden folyamatrészt modelleznem kell (mind a matematikai, mind pedig a szimulációs modellben), mivel ezek a fő logisztikai folyamatok, azonban az inverz logisztikai feladatok sporadikusabbak, valamint kisebb volumenekről van szó, ezért meg kellett vizsgálnom, hogy mely folyamatokat modellezzem, és mely folyamatokat hanyagolhatom el mezoszkópikus szinten. Ehhez a matematikai modell felírása és a szimulációs modell inverz logisztikai folyamatokat modellező részének felépítése előtt szükséges volt elemeznem az inverz logisztikai folyamatokkal kapcsolatos adatainkat, amelyek a korábbi adatgyűjtésből származnak (3 bevásárlóközpont 327 üzletére vonatkoznak).

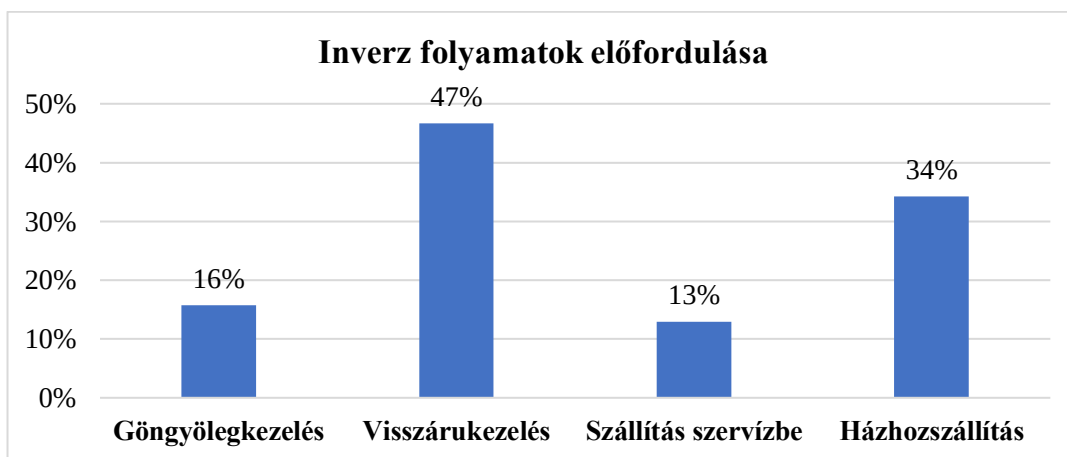
4.1.2.1. Inverz logisztikai folyamatokra vonatkozó adatok elemzése

A korábbi kérdőíves felmérés során kapott, az inverz logisztikai folyamatokkal kapcsolatos, az elemzés alapját képező adatok az alábbiak:

- göngyölegszállítás megléte;
- göngyöleg típusa;
- szállításonkénti göngyöleg mennyisége, amelyeket vissza kell szállítani egy későbbi szállításnál (a beszállított, göngyöleggel rendelkező áru mennyisége alapján);

- göngyöleg tömege (becsült érték az adott göngyöleg típusa alapján);
- visszárukezelés megléte;
- visszárukezelés szükségességének gyakorisága;
- az üzletből szervizbe történő szállítás megléte;
- házhozszállítás megléte;
- házhoz szállítandó árumennyiség;
- házhozszállítás havi gyakorisága;
- házhozszállítás távolsága km-ben kifejezve, intervallumosan.

Elsősorban azokat az adatokat elemeztem, amelyek a beszállítások szempontjából elég részletesek ahhoz, hogy a szimulációs futtatásokhoz bemenetet képezzenek. Ezen adatok alapján 178 üzletből 28 esetén fordul elő göngyölegkezelés (25 esetben raklap, 2 esetben műanyag rekesz, 1 esetben pedig ládák kezelése), 83 esetben van szó visszárukezelésről (átlagosan havi 1 alkalommal van erre szükség), 23 esetben van szó szervizbe szállításról, illetve 61 esetben házhozszállításról (átlagosan az áru 21%-át szállítják házhoz, jellemzően napi 2-3 alkalommal). Ez százalékosan a 4.5. ábrán látható.

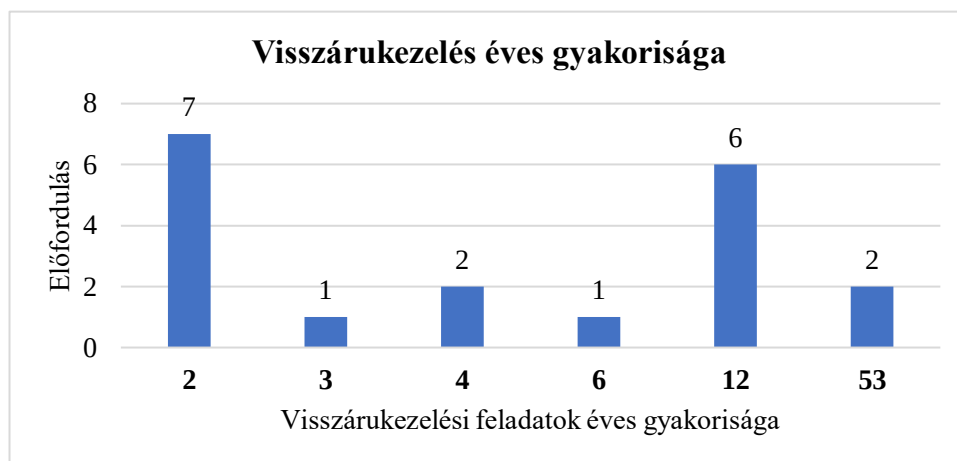


4.5. ábra: Inverz logisztikai feladatok előfordulása a vizsgált üzleteknél (N=178)

A rendelkezésre álló adataink alapján az inverz folyamatok négy csoportjából kettőt építettem bele a modellbe: a göngyölegkezelést, illetve a házhozszállításokat.

A visszárukezelést nem építettem bele a modellbe, mivel a modellezés, illetve a szimulációs futtatások során egyhónapos időszakot vizsgálunk, az esetek jelentős részében viszont a visszárukezelés havinál ritkább gyakoriságú feladat a 4.6. ábrán látható módon (jellemzően a ruhaüzletek esetén van erről szó, ahol 3-4-6 havonta váltanak kollekciót és van szükség jelentős mennyiségű visszárukezelésre, az esetek több, mint 50%-ában havi 1-nél ritkábban fordul elő, 19-ből 17 esetben pedig havonta

vagy ritkábban fordul elő), így ezen a szinten (egy hónapos időszakot napi/órás bontásban vizsgálva) nem lenne jól modellezhető.



4.6. ábra: A különböző éves gyakoriságok előfordulása a visszárukezelés esetén (N=19)

A szervizbe szállítási folyamatokkal kapcsolatban nem rendelkezünk részletes adatokkal, mivel azzal kapcsolatban a felmérésünkben nem volt részletes kérdés, így megfelelő adatok hiányában úgy döntöttem, hogy azt sem érdemes beépíteni a mezoszkópikus szintű modellbe.

Az adatok feldolgozása után elkészíthettem az inverz logisztikai folyamatok matematikai modelljét és MS Excel alapú szimulációs modelljét is.

4.1.2.2. Az inverz logisztikai folyamatok modellezése

Az inverz logisztikai folyamatok modellezése egyszerűbb feladat volt, mivel ezek egyszerűbb részfolyamatok, azonban néhány elemet a beszállításoktól eltérően kellett kezelnünk.

A j. nap l. órájában beérkező i. típusú beszállítási tranzakció által generált, a későbbiekben kezelendő göngyöleg tömeg:

$$M_{i,j}^{l(empty)} = \begin{cases} n_i^{empty} * m_i^{empty}, & \text{ha } x_{i,j}^l = 1 \\ 0, & \text{különben} \end{cases}$$

A j. nap l. órájában beérkező i. típusú beszállításhoz tartozó, a göngyölegkezelés során megtett út, feltételezve, hogy a göngyöleget a beszállítás kiindulópontjára szállítják vissza (amennyiben a göngyöleget máshová szállítják vissza, mint az i. típusú beszállítás kiinduló pontja, akkor már nem i. típusú beszállításról beszélünk, ekkor az i. típusú beszállításhoz nem tartozik göngyölegkezelés, az i*. típusú beszállításhoz pedig nem tartozik beérkező anyagáram, csak göngyölegszállítás az új célpontra):

$$S_{i,j}^{l,empty} = \begin{cases} S_{i,j}^{l,city} + S_{i,j}^{l,land}, & \text{ha } M_{i,j}^{l(empty)} > 0 \\ 0, & \text{különben, ekkor } S_{i,j}^{l,city} + S_{i,j}^{l,land} \text{ az üresen megtett utat fejezi ki} \end{cases}$$

Amennyiben nem tartozik göngyölegkezelési feladat az i. típusú beszállításhoz, a fenti formula a beszállítást követő üresjárat során megtett utat adja meg.

Ekkor a j. nap 1. órájában generált göngyölegkezelési tranzakcióhoz tartozó szállítási teljesítmény a beszállítási tranzakcióhoz hasonló módon:

$$Q_{i,j}^{l,empty} = M_{i,j}^{l(empty)} * S_{i,j}^{l,empty}$$

Az MS Excel alapú szimulációs modell a göngyölegkezelés során keletkező teljesítményeket modellező munkalapja a 4.7. ábrán látható.

A j. napon az üzemanyag fogyasztás (benzin- vagy gázolajfogyasztás, az egyéb üzemanyagokat jelenleg a beszállításhoz hasonlóan elhanyagolva) az i. típusú beszállítások által generált göngyölegkezelési feladatok során. Amennyiben az adott beszállításhoz nem tartozik göngyölegkezelési feladat, úgy ez a formula az üresjárat során elfogyasztott üzemanyag mennyiségét fogja megadni.

$$F_{i,j}^{empty} = F_i^{SUP} * \left(\sum_{l=1}^{24} S_{i,j}^{l,empty} \right)$$

Transports								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mail ID	Supplier ID	Shop ID	SKU ID	Empties?	Empties type	Quantity [pcs/transport]	Weight [kg]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	SM001	SUP0001	SH0001	SKU006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	SM001	SUP0002	SH0002	SKU005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	SM001	SUP0003	SH0003	SKU003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	SM001	SUP0004	SH0004	SKU002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	SM001	SUP0005	SH0005	SKU002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	SM001	SUP0006	SH0006	SKU006	1 pallet	3	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	SM001	SUP0007	SH0007	SKU006	1 pallet	1	15	0	0	0	0	0	0	0	0	1.68	0	0	0
11	SM001	SUP0008	SH0008	SKU003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	SM001	SUP0009	SH0009	SKU003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	SM001	SUP0010	SH0010	SKU003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	SM001	SUP0011	SH0011	SKU001	1 pallet	4	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	SM001	SUP0012	SH0012	SKU001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	SM001	SUP0013	SH0013	SKU003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	SM001	SUP0014	SH0014	SKU002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	SM001	SUP0015	SH0015	SKU007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	SM001	SUP0016	SH0016	SKU001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	SM001	SUP0017	SH0017	SKU003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	SM001	SUP0018	SH0018	SKU007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	SM001	SUP0019	SH0019	SKU004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4.7. ábra: A göngyölegkezelés során keletkező teljesítményeket modellező Excel-munkalap a jelenlegi rendszer esetén

A j. napon az i. típusú beszállításhoz tartozó göngyölegkezelési tranzakció (vagy az i. típusú beszállításhoz tartozó üresjárat) során értelmezett üzemanyag fogyasztásból számított káros anyag kibocsátás a beszállítások során, 5 különböző káros anyagot vizsgálva:

$$\begin{aligned}
K_{i,j}^{CO(empty)} &= K_i^{CO(SUP)} * \left(\sum_{l=1}^{24} S_{i,j}^{l,empty} \right) \\
K_{i,j}^{CO_2(empty)} &= K_i^{CO_2(SUP)} * \left(\sum_{l=1}^{24} S_{i,j}^{l,empty} \right) \\
K_{i,j}^{HC(empty)} &= K_i^{HC(SUP)} * \left(\sum_{l=1}^{24} S_{i,j}^{l,empty} \right) \\
K_{i,j}^{NO_x(empty)} &= K_i^{NO_x(SUP)} * \left(\sum_{l=1}^{24} S_{i,j}^{l,empty} \right) \\
K_{i,j}^{PM(empty)} &= K_i^{PM(SUP)} * \left(\sum_{l=1}^{24} S_{i,j}^{l,empty} \right)
\end{aligned}$$

A göngyölegkezelési feladatok mellett a házhozszállítási tranzakciókat modelleztük még a megadott házhozszállítási részarányból kiindulva. A házhozszállítási tranzakciók (azaz a házhozszállítást végző körjáratok száma a j. napon, normális eloszlást feltételezve) az alábbi. Ebben a formulában $r_{i,j}$ 0 és 1 közötti egyenletes eloszlású véletlen szám, $r_{i,j}^*$ pedig normális eloszlású, 0 várható értékű, 1 szórású véletlen szám.

$$N_{i,j}^{hd} = \left\{ \begin{array}{l} 0, ha p_i^{hd} = 0 \\ 0, ha p_i^{hd} > 0, N_i^{hd} < 30 \text{ és } r_{i,j} \geq \frac{N_i^{hd}}{30} \\ 1, ha p_i^{hd} > 0, N_i^{hd} < 30 \text{ és } r_{i,j} < \frac{N_i^{hd}}{30} \\ \max \left\{ 0; \frac{N_i^{hd}}{30} + \frac{N_i^{hd}}{60} * r_{i,j}^* \right\}, ha p_i^{hd} > 0 \text{ és } N_i^{hd} \geq 30 \end{array} \right\}$$

A házhozszállítások kapcsán i. típusú házhozszállítási tranzakciókról beszélhetünk, amelyek azonban hozzárendelhetők az i. típusú beszállítási tranzakcióhoz (azaz azokat az árukat szállítjuk házhoz, amelyek azzal a beszállítási tranzakcióval érkeztek), azonban előfordulhat olyan eset is, hogy az i. típusú házhozszállítási tranzakció során több különböző típusú beszállítási tranzakció áruai kerülnek kiszállításra.

A j. napon házhoz szállított árumennyiség ekkor az alábbi módon alakul, itt is normális eloszlást feltételezve, $r_{i,j}^*$ pedig itt is normális eloszlású, 0 várható értékű, 1 szórású véletlenszám.

$$M_{i,j}^{hd} = \left\{ \begin{array}{l} 0, ha N_{i,j}^{hd} = 0 \\ \left(p_i^{hd} + \frac{p_i^{hd}}{10} * r_{i,j}^* \right) * \min \{ D_{i,j}^M; K_{i,j}^{SH} \}, különben \end{array} \right\}$$

Mivel körjáratokról van szó, ezért ebben az esetben a teljesítmények meghatározásához más megoldást kellett választanunk. A j. napon a házhozszállítások

során megtett út így az alábbi lesz a Clark és Wright-féle [43] VRP-becslő formulák alkalmazásával:

$$S_{i,j}^{hd} = \begin{cases} 0, ha N_{i,j}^{hd} = 0 \\ N_{i,j}^{hd} * (L_{i,j}^{in_out} + L_{i,j}^{area}), különben \end{cases}$$

A be- és kihaladási távolságok a 4.1. táblázatban láthatók.

4.1. táblázat: A Clarke&Wright VRP-becslő formulák alkalmazása a matematikai modellben a jelenlegi rendszer esetén

Be- és kihaladási út ($L_{i,j}^{in_out}$)	$1,189 * \sqrt{\frac{2 * A_i^{hd}}{\pi}}$	$0,829 * \sqrt{A_i^{hd} * N_i^{hd_dem}} * \frac{C_{i,j}^{hd}}{N_i^{hd_dem}}$
Területen megtett út ($L_{i,j}^{area}$)	$0,680 * \sqrt{A_i^{hd} * N_i^{hd_dem}} * \frac{C_{i,j}^{hd}}{N_i^{hd_dem}}$	$0,543 * \sqrt{A_i^{hd} * N_i^{hd_dem}} * \frac{1}{C_{i,j}^{hd}}$
Feltétel	$7 < C_{i,j}^{hd} < 1,5 * \frac{N_i^{hd_dem}}{C_{i,j}^{hd}}$	különben

Az előbbi táblázatban ekkor az egy járáshoz rendelt igénypontok várható száma a j. napon:

$$C_{i,j}^{hd} = \begin{cases} 0, ha N_{i,j}^{hd} = 0 \\ \left\lceil \frac{N_i^{hd_dem}}{N_{i,j}^{hd}} \right\rceil, különben \end{cases}$$

Ekkor a j. napon az üzemanyag fogyasztás (benzin- vagy gázolajfogyasztás) az i. típusú házhozszállítási tranzakciók során az adott járműhöz tartozó fajlagos fogyasztási érték alapján számolva:

$$F_{i,j}^{hd} = F_i^{hd} * S_{i,j}^{hd}$$

A j. napon a házhozszállítás során értelmezett üzemanyag fogyasztásból az adott járművekhez tartozó fajlagos kibocsátási érték alapján számított káros anyag kibocsátás a beszállítások során 5 különböző káros anyagot vizsgálva:

$$K_{i,j}^{CO(hd)} = K_i^{CO(hd)} * S_{i,j}^{hd}$$

$$K_{i,j}^{CO_2(hd)} = K_i^{CO_2(hd)} * S_{i,j}^{hd}$$

$$K_{i,j}^{HC(hd)} = K_i^{HC(hd)} * S_{i,j}^{hd}$$

$$K_{i,j}^{NO_x(hd)} = K_i^{NO_x(hd)} * S_{i,j}^{hd}$$

$$K_{i,j}^{PM(hd)} = K_i^{PM(hd)} * S_{i,j}^{hd}$$

4.2. Az áruszállítási folyamatok matematika modellje a vizsgált új rendszer esetén

A matematikai modellt elkészítettem a 3. fejezetben bemutatott, konszolidációs központot és áruforgalmi zsilipeket alkalmazó új rendszerkonceptiókra is. Itt a beszállítók és a koncentrált igénypont-halmazok közé konszolidációs központot helyezünk el, ami készletezési funkciót is átvesz a beszállítóktól és innen konszolidáltan szállítunk ki a koncentrált igénypontba (egyik esetben tehergépkocsik, másik esetben közúti vasút, azaz villamosok alkalmazásával), azaz egy klasszikus kétlépcsős, gateway-konceptió alapú rendszerről beszélünk. Az új rendszerbe konszolidáltan integráljuk a göngyölegkezelési és a házhozszállítási feladatokat is.

Az új rendszer matematikai modelljét két részre felosztva mutatom be: a beszállítók és a konszolidációs központ közötti szakasz folyamatait és a konszolidációs központ és a koncentrált igénypont-halmazok közötti szakasz folyamatait mutatom be együtt. Együttesen fogjuk bemutatni a tehergépkocsit, illetve villamost alkalmazó megoldást, mivel azok csak néhány ponton térnek el egymástól. Az új rendszer modellje a konszolidált (így napi mennyiségeket összevontan kezelő) tranzakciók miatt alapvetően napi bontásban dolgozik a vizsgált egy hónapos időszakban.

4.2.1. Logisztikai folyamatok matematikai modellje az új rendszerben, a beszállítók és a konszolidációs központ között

Itt is, a jelenlegi rendszerhez hasonlóan, a modell alapkomponeense a beszállítás-generátor. Ekkor $x_{i,j}^{CC}$ az a változó, amely megmutatja, hogy a j. napon megvalósulhat-e az i. típusú, az i. típusú beszállítási tranzakciókból származtatott (több beszállításra eső árumennyiséget szállítunk be együtt ekkor), összevont beszállítási tranzakció. Az $r_{i,j}$ 0 és 1 közötti egyenletes eloszlású véletlen szám, $q_i^{CC} = \max\left\{\frac{N_i^{CC(in)}}{30}; 0,3\right\}$ pedig az adott beszállításhoz tartozó, kísérleti úton beállított, a valós helyzetet a lehető legjobban közelítő valószínűségi érték.

$$x_{i,j}^{CC} = \begin{cases} 0, ha \sum_{k=1}^{j-1} x_{i,k}^{CC} = N_i^{CC(in)} \\ 0, ha \sum_{k=1}^{j-1} x_{i,k}^{CC} < N_i^{CC(in)} \text{ és } r_{i,j} \geq q_i^{CC} \\ 1, ha \sum_{k=1}^{j-1} x_{i,k}^{CC} < N_i^{CC(in)} \text{ és } r_{i,j} < q_i^{CC} \end{cases}$$

Az MS Excel szimulációs modell beszállítás-generátorának beszállítási napokat meghatározó munkalapja a 4.8. ábrán látható, az új rendszer esetében is ez a szimulációs modell legfontosabb eleme.

</

4.8. ábra: A beszállítási napokat generáló Excel-munkalap az új rendszer esetén

Ekkor $x_{i,j}^{l,CC}$ azt mutatja meg, hogy a j. nap, l. órájában megvalósul-e az i. típusú összevont beszállítási tranzakció, $R_{i,j}^l$ ekkor 0 és 1 közötti egyenletes eloszlású véletlen szám, Q_i^{CC} pedig az adott beszállításhoz tartozó, kísérleti úton beállított valószínűség: $Q_i^{CC} = 0,25$.

$$x_{i,j}^{l,CC} = \begin{cases} 1, ha & \begin{cases} x_{i,j}^{CC} = 1 \\ TW_i^{CC(LL)} \leq k \\ TW_i^{CC(UL)} \geq k \\ \sum_{k=1}^{l-1} x_{i,j}^{k,CC} < 1 \\ \sum_{h=1}^{j-1} \sum_{g=1}^{24} x_{i,h}^{g,CC} + \sum_{k=1}^{l-1} x_{i,j}^{k,CC} < N_i^{CC(in)} \\ R_{i,j}^l < Q_i^{CC} \end{cases} \\ 0, különben \end{cases}$$

A j. nap l. órájában a konszolidációs központba beszállított árutömeg (az egy összevont tranzakcióba összevonandó egyszerű beszállítási tranzakciók számából és az egy beszállítás során szállítandó áru mennyiségéből meghatározva) ekkor az i. típusú konszolidált beszállítási tranzakció során $M_{i,j}^{l,CC}$, ahol $R_{i,j}^l$ 0 és 1 közötti egyenletes eloszlású véletlen szám:

$$M_{i,j}^{l,CC} = \begin{cases} \left\lfloor \frac{N_i^{\max(\text{month})}}{N_i^{CC(\text{in})}} \right\rfloor * \\ * \left(n_i^{\text{box}} * (m_i^{\text{box}(\min)} + R_{i,j}^l * (m_i^{\text{box}(\max)} - m_i^{\text{box}(\min)})) + \right. \\ \left. n_i^{\text{pal}} * (m_i^{\text{pal}(\min)} + R_{i,j}^l * (m_i^{\text{pal}(\max)} - m_i^{\text{pal}(\min)})) + \right. \\ \left. n_i^{\text{oth}} * (m_i^{\text{oth}(\min)} + R_{i,j}^l * (m_i^{\text{oth}(\max)} - m_i^{\text{oth}(\min)})) \right) \right), \text{ ha } x_{i,j}^{l,CC} = 1 \\ 0, \text{ különben} \end{cases}$$

Ezeket összegezve, a j. napon megkapom a konszolidációs központba beszállított árutömeget az i. típusú összevont beszállítási tranzakciók során:

$$M_{i,j}^{CC} = \sum_{j=1}^{24} M_{i,j}^{l,CC}$$

Ebből arányosan számítható (a jelenlegi rendszernél bemutatotthoz hasonló módon) a j. napon az i. típusú összevont beszállítási tranzakció során a konszolidációs központba beszállított árutérfogat:

$$V_{i,j}^{CC} = \begin{cases} \frac{M_{i,j}^{CC}}{\left\lfloor \frac{N_i^{\max(\text{month})}}{N_i^{CC(\text{in})}} \right\rfloor * (m_i^{\text{box}(\max)} + m_i^{\text{pal}(\max)} + m_i^{\text{oth}(\max)})} * \\ * \left\lfloor \frac{N_i^{\max(\text{month})}}{N_i^{CC(\text{in})}} \right\rfloor * \\ * (n_i^{\text{box}} * V_i^{\text{box}(\max)} + n_i^{\text{pal}} * V_i^{\text{pal}(\max)} + n_i^{\text{oth}} * V_i^{\text{oth}(\max)}) \right), \text{ ha } x_{i,j}^{CC} = 1 \\ 0, \text{ különben} \end{cases}$$

A j. napi anyagmozgatási időszükséglet ekkor a beszállítónál az i. típusú összevont beszállítási tranzakciók kezelése során, figyelembe véve az adott szállítás által a későbbiekben generált göngyölegkezelés időszükségletét is:

$$T_{i,j}^{SUP} = \begin{cases} \left(\max \left\{ \left\lfloor \frac{M_{i,j}^{CC}}{m_i^{\text{mh_max}(SUP)}} \right\rfloor * t_i^{\text{load_up}(SUP)}; \right. \right. \\ \left. \left. \left\lfloor \frac{V_{i,j}^{CC}}{V_i^{\text{mh_max}(SUP)}} \right\rfloor * t_i^{\text{load_up}(SUP)} \right\} + \right. \\ \left. + \max \left\{ \left\lfloor \frac{M_{i,j}^{\text{empty},CC}}{m_i^{\text{mh_max}(SUP)}} \right\rfloor * t_i^{\text{load_down}(SUP)}; \right. \right. \\ \left. \left. \left\lfloor \frac{V_{i,j}^{\text{empty},CC}}{V_i^{\text{mh_max}(SUP)}} \right\rfloor * t_i^{\text{load_down}(SUP)} \right\} \right), \text{ ha } x_{i,j}^{CC} = 1 \\ 0, \text{ különben} \end{cases}$$

A j. nap, az i. típusú összevont beszállítási tranzakciókkal kapcsolatos készlete a beszállítónál:

$$K_{i,j}^{SUP,CC} = K_{i,j-1}^{SUP,CC} + M_{i,j+1}^{CC} - M_{i,j}^{CC}$$

Az ehhez tartozó nyitókészlet a modellben ismételt az SS alapmodell szerint számolva, ahol $U_i^{SUP,CC}$ biztonsági tényező normális eloszlás szerint, $D(M_{i,j}^{CC})$ pedig az i. típusú összevont beszállítási tranzakciók során beszállított árutömeg szórása.

$$K_{i,0}^{SUP,CC} = U_i^{SUP,CC} * \sqrt{D(M_{i,j}^{CC})} + \sum_{k=1}^3 M_{i,k}^{CC}$$

A j. napon érkező i. típusú összevont beszállítási tranzakcióhoz tartozó, a városon kívül megtett út a beszállító és a konszolidációs központ között (a konszolidációs központ modellszerűen a városhatáron, a beszállító pedig modellszerűen a városhatáron kívül helyezkednek el, azt feltételezve, hogy a jelenlegi rendszerben városon belülről induló szállítások is eredetileg városon kívüli beszállítótól érkeztek a városon belültre), így ezek a tranzakciók városon belül megtett utat nem generálnak):

$$S_{i,j}^{land,CC} = \begin{cases} s_i^{land(l)}, ha x_{i,j}^{CC} = 1 \\ 0, különben \end{cases}$$

A j. napon ekkor az i. típusú összevont beszállítási tranzakcióhoz tartozó, a városon kívüli szállítási teljesítmény:

$$Q_{i,j}^{land,CC} = S_{i,j}^{land,CC} * M_{i,j}^{CC}$$

A j. napon az ehhez tartozó üzemanyag fogyasztás (benzin- vagy gázolajfogyasztást feltételezve, az egyéb üzemanyagokat továbbra is elhanyagolva) az i. típusú összevont beszállítási tranzakciók során:

$$F_{i,j}^{SUP,CC} = F_i^{SUP} * S_{i,j}^{land,CC}$$

A j. napon az üzemanyag fogyasztásból számított, az i. típusú összevont beszállítási tranzakciókhoz tartozó káros anyag kibocsátás a beszállítások során 5 különböző káros anyagot vizsgálva:

$$K_{i,j}^{CO(SUP,CC)} = K_i^{CO(SUP)} * S_{i,j}^{land,CC}$$

$$K_{i,j}^{CO_2(SUP,CC)} = K_i^{CO_2(SUP)} * S_{i,j}^{land,CC}$$

$$K_{i,j}^{HC(SUP,CC)} = K_i^{HC(SUP)} * S_{i,j}^{land,CC}$$

$$K_{i,j}^{NO_x(SUP,CC)} = K_i^{NO_x(SUP)} * S_{i,j}^{land,CC}$$

$$K_{i,j}^{PM(SUP,CC)} = K_i^{PM(SUP)} * S_{i,j}^{land,CC}$$

A j. napon a konszolidációs központba beérkező i. típusú összevont beszállítás által generált, a későbbiekben (a koncentrált igénypont-halmaztól való visszaérkezést követően az első adandó alkalommal) kezelendő göngyölegtmeg:

$$M_{i,j}^{empty,CC} = \begin{cases} \left\lceil \frac{N_i^{\max(month)}}{N_i^{CC(in)}} \right\rceil * n_i^{month} * m_i^{empty}, & \text{ha } x_{i,j}^{CC} = 1 \\ 0, & \text{különben} \end{cases}$$

A j. nap 1. órájában beérkező i. típusú összevont beszállításhoz tartozó, a göngyölegkezelés során megtett út, feltételezve, hogy a göngyöleget a beszállítás kiindulópontjára szállítják vissza (a jelenlegi rendszerhez hasonlóan, amennyiben a göngyöleget máshová szállítják vissza, mint az i. típusú beszállítás kiinduló pontja, akkor már nem i. típusú beszállításról beszélünk, ekkor az i. típusú beszállításhoz nem tartozik göngyölegkezelés, az i*. típusú beszállításhoz pedig nem tartozik beérkező anyagáram, csak göngyölegszállítás az új célpontra):

$$S_{i,j}^{empty,CC} = \begin{cases} S_{i,j}^{land,CC}, & \text{ha } M_{i,j}^{empty,CC} > 0 \\ 0, & \text{különben, ekkor } S_{i,j}^{land,CC} \text{ az üresen megtett utat fejezi ki} \end{cases}$$

Amennyiben nem tartozik göngyölegkezelési feladat az i. típusú összevont beszállításhoz, a fenti formula a beszállítást követő üresjárat során megtett utat adja meg.

Ekkor a j. napon generált, az i. típusú összevont beszállítási tranzakcióhoz kapcsolódó göngyölegkezelési tranzakcióhoz tartozó szállítási teljesítmény:

$$Q_{i,j}^{empty,CC} = M_{i,j}^{empty,CC} * S_{i,j}^{empty,CC}$$

A j. napon az üzemanyag fogyasztás (benzin- vagy gázolajfogyasztás) az i. típusú összevont beszállítási tranzakció által generált göngyölegkezelési feladatok során az alábbi.

$$F_{i,j}^{empty,CC} = F_i^{SUP} * S_{i,j}^{empty,CC}$$

Amennyiben az i. típusú összevont beszállítási tranzakcióhoz nem tartozik göngyölegkezelési feladat, úgy ez a formula az üresjárat során elfogyasztott üzemanyag mennyiségét adja meg.

A j. napon az i. típusú beszállítási tranzakcióhoz tartozó göngyölegkezelési feladat során értelmezett üzemanyag fogyasztásból számított káros anyag kibocsátás a beszállítások során 5 különböző káros anyagot vizsgálva:

$$\begin{aligned} K_{i,j}^{CO(empty,CC)} &= K_i^{CO(SUP)} * S_{i,j}^{empty,CC} \\ K_{i,j}^{CO_2(empty,CC)} &= K_i^{CO_2(SUP)} * S_{i,j}^{empty,CC} \\ K_{i,j}^{HC(empty,CC)} &= K_i^{HC(SUP)} * S_{i,j}^{empty,CC} \\ K_{i,j}^{NO_x(empty,CC)} &= K_i^{NO_x(SUP)} * S_{i,j}^{empty,CC} \\ K_{i,j}^{PM(empty,CC)} &= K_i^{PM(SUP)} * S_{i,j}^{empty,CC} \end{aligned}$$

Amennyiben az adott összevont beszállításhoz nem tartozik göngyölegkezelési feladat, úgy a fenti formulák az üresjárat során kibocsátott káros anyag mennyiségét adják meg.

A beszállítók és a konszolidációs központ között nem szükséges házhozszállításokat kezelni, mivel azokat a konszolidációs központból osztjuk szét az áruforgalmi zsilipeken át. A beszállítóktól a házhoz szállítandó áruk a többi áruval együtt érkeznek, kezelésük a konszolidációs központban esedékes.

4.2.2. Logisztikai folyamatok matematikai modellje az új rendszerben, a konszolidációs központ és a koncentrált igénypont-halmazok között

A konszolidációs központ és a koncentrált igénypont-halmazok közötti folyamatokat teljes mértékben napi bontásban írom fel. Ennek a résznek is egy beszállítás-generátor (vagy a konszolidációs központ szemszögéből nézve kiszállítás-generátor) az alapja. $x_{i,j}^{CDP}$ az a változó, amely megmutatja, hogy a j. napon megvalósulhat-e az i. konszolidált beszállítási tranzakció a koncentrált igénypont-halmazhoz. Az $r_{i,j}$ 0 és 1 közötti egyenletes eloszlású véletlen szám,

$q_i^{CDP} = \max \left\{ \frac{\max\{N_i^{\max(month)}; 30\}}{30}; 0,25 \right\}$ pedig az adott beszállításhoz tartozó

valószínűségi érték, amelyet a korábbiakhoz hasonlóan kísérleti úton határoztam meg.

$$x_{i,j}^{CDP} = \begin{cases} 0, ha \sum_{k=1}^{j-1} x_{i,k}^{CDP} = N_i^{\max(month)} \\ 0, ha x_{i,j-1}^{CDP} = 1 \text{ és } N_i^{\max(month)} < 7 \\ 0, ha \sum_{k=1}^{j-1} x_{i,k}^{CDP} < N_i^{\max(month)} \text{ és } r_{i,j} \geq q_i^{CDP} \\ 1, ha \sum_{k=1}^{j-1} x_{i,k}^{CDP} < N_i^{\max(month)} \text{ és } r_{i,j} < q_i^{CDP} \end{cases}$$

A j. napon a konszolidációs központból a koncentrált igénypont-halmazhoz eljuttatandó, az i. típusú konszolidált (az i. típusú beszállítási tranzakcióból származtatott) konszolidált beszállítási tranzakcióhoz tartozó árutömeg ekkor $M_{i,j}^{CDP}$, $R_{i,j}$ pedig 0 és 1 közötti egyenletes eloszlású véletlen szám:

$$M_{i,j}^{CDP} = \begin{cases} \left[\frac{N_i^{\max(\text{month})}}{\max\{N_i^{\max(\text{month})}; 30\}} \right] * \left(\begin{aligned} &n_i^{box} * (m_i^{box(\min)} + R_{i,j} * (m_i^{box(\max)} - m_i^{box(\min)})) + \\ &n_i^{pal} * (m_i^{pal(\min)} + R_{i,j} * (m_i^{pal(\max)} - m_i^{pal(\min)})) + \\ &n_i^{oth} * (m_i^{oth(\min)} + R_{i,j} * (m_i^{oth(\max)} - m_i^{oth(\min)})) \end{aligned} \right) - \end{cases}$$

$$-M_{i,j}^{hd}, ha x_{i,j}^{CDP} = 1$$

$$0, \text{különben}$$

Az MS Excel alapú szimulációs modell a koncentrált igénypont-halmazra konszolidáltan kiszállítandó árumennyiséget meghatározó munkalapja a 4.9. ábrán látható. Fontos kiemelni, hogy ez az árumennyiség nem azonos a konszolidációs központba beszállított mennyiséggel az egyes napokon, egymástól függetlenül generálódnak.

Transport Informations					Daily weights/shop (shop demands)																	
Mall ID	Supplier ID	Shop ID	SKU ID	Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SM001	SUP0001	SH0001	SKU006				4								4		2					2
SM001	SUP0002	SH0002	SKU005		32				28		46											
SM001	SUP0003	SH0003	SKU003		19		22								14				31	12		20
SM001	SUP0004	SH0004	SKU002		147	149	43	94	124	31	122	103	113	126	64	101	117	48	122	105	138	44
SM001	SUP0005	SH0005	SKU002		100				79			94					30					
SM001	SUP0006	SH0006	SKU006		1101			1237			482											
SM001	SUP0007	SH0007	SKU006		495		177		366			106						376		151		
SM001	SUP0008	SH0008	SKU003		75	107	49	83	107	104	157	60	143	102	83	72	117	53	185	149	72	156
SM001	SUP0009	SH0009	SKU003														8,78		8,822	9,704		4,745
SM001	SUP0010	SH0010	SKU003				213						170,7					269				
SM001	SUP0011	SH0011	SKU001		465		521	624	929	860	1708	499	435	829	643	863			1450	1679		
SM001	SUP0012	SH0012	SKU001		305	229	110	121	151	289	495	364	315	206	114	465	260	375	325	416	200	149
SM001	SUP0013	SH0013	SKU003			85											79	74	156			
SM001	SUP0014	SH0014	SKU002		53	50	36	34	45	35	27	55	27	50	27	31	60	55	26	36	28	16
SM001	SUP0015	SH0015	SKU007							12		14				8						
SM001	SUP0016	SH0016	SKU001		2360	2996	827	1468	2193	2887	2477	1396	807	2792	2561	2291	2625	2477	1394	2753	2037	825

4.9. ábra: A koncentrált igénypont-halmazra konszolidáltan kiszállítandó árumennyiséget meghatározó Excel-munkalap az új rendszer esetén

Ebből számítható a j. napon a koncentrált igényponton található üzlet által igényelt, az i. típusú konszolidált beszállítási tranzakcióhoz tartozó árutérfogat:

$$V_{i,j}^{CDP} = \begin{cases} \left(\frac{M_{i,j}^{CDP}}{\left[\frac{N_i^{\max(\text{month})}}{\max\{N_i^{\max(\text{month})}; 30\}} \right] * (m_i^{box(\max)} + m_i^{pal(\max)} + m_i^{oth(\max)})} * \right. \\ \left. * \left[\frac{N_i^{\max(\text{month})}}{\max\{N_i^{\max(\text{month})}; 30\}} \right] * \right. \\ \left. * (n_i^{box} * V_i^{box(\max)} + n_i^{pal} * V_i^{pal(\max)} + n_i^{oth} * V_i^{oth(\max)}), ha x_{i,j}^{CDP} = 1 \right) \\ 0, \text{különben} \end{cases}$$

Ekkor a j. napi, az i. típusú konszolidált beszállítási tranzakcióhoz tartozó készlet a konszolidációs központban:

$$K_{i,j}^{CC} = K_{i,j-1}^{CC} + M_{i,j}^{CC} - M_{i,j}^{CDP*} - M_{i,j}^{hd*}$$

Ugyanez térfogásban kifejezve:

$$K_{i,j}^{V,CC} = K_{i,j-1}^{V,CC} + V_{i,j}^{CC} - V_{i,j}^{CDP*} - V_{i,j}^{hd*}$$

Az ehhez tartozó nyitókészlet a modellben ekkor a korábbiakhoz hasonlóan az SS alapmodell szerint számolva, ahol U_i^{CC} biztonsági tényező normális eloszlás szerint, $D(M_{i,j}^{SM})$ pedig a beszállított árutömeg szórása.

$$K_{i,0}^{CC} = \left\{ \begin{array}{l} U_i^{CC} * \sqrt{D(M_{i,j}^{CDP})} + \\ + (n_i^{box} * m_i^{box(max)} + n_i^{pal} * m_i^{pal(max)} + n_i^{oth} * m_i^{oth(max)}) \end{array} \right\}$$

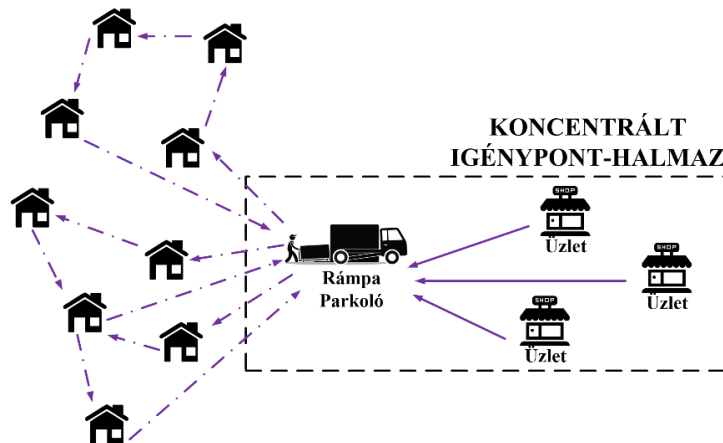
A j. napon a koncentrált igénypont-halmazon található üzletbe beszállítandó, az i. típusú beszállítási tranzakcióhoz tartozó árutömeg ekkor $M_{i,j}^{CDP}$:

$$M_{i,j}^{CDP*} = \min\{K_{i,j-1}^{CC}; M_{i,j}^{CDP}\}$$

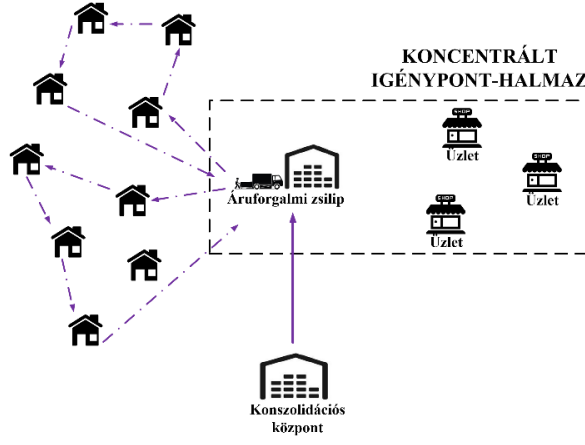
Ebből számítható az ehhez tartozó, a j. napon a koncentrált igénypont-halmazon található üzletbe beszállított árutérfogat:

$$V_{i,j}^{CDP*} = \min\{K_{i,j-1}^{V,CC}; V_{i,j}^{CDP}\}$$

A házhozszállítási tranzakciók modellezéséhez először szükséges a házhozszállítási folyamatok értelmezése. A jelenlegi rendszerben ekkor a házhozszállítások a 4.10. ábrán látható módon az üzletekből történnek, az új rendszerben azonban az üzleteket nem érintve, a konszolidációs központon és az áruforgalmi zsilipen át történnek a 4.11. ábrán láthatóan.



4.10. ábra: Házhozszállítások lebonyolítása a jelenlegi rendszerben



4.11. ábra: Házhozszállítások lebonyolítása az új rendszerben

Az i . típusú konszolidált beszállítási tranzakcióhoz tartozó i . típusú házhozszállítási tranzakció (melynek értelmezése hasonló, mint a jelenlegi rendszer esetén) meglétét (azaz szükségességét) jelző változó a j . napon, normális eloszlást feltételezve az alábbi. Ebben az esetben $r_{i,j}$ 0 és 1 közötti egyenletes eloszlású véletlen szám, $r_{i,j}^*$ pedig 0 várható értékű, 1 szórással normális eloszlású véletlen szám.

$$x_{i,j}^{hd} = \begin{cases} 0, ha \ p_i^{hd} = 0 \\ 0, ha \ p_i^{hd} > 0, N_i^{hd} < 30 \text{ és } r_{i,j} \geq \frac{N_i^{hd}}{30} \\ 1, ha \ p_i^{hd} > 0, N_i^{hd} < 30 \text{ és } r_{i,j} < \frac{N_i^{hd}}{30} \\ \min \left\{ 1; \max \left\{ 0; \left\lceil \frac{N_i^{hd}}{30} + \frac{N_i^{hd}}{60} * r_{i,j}^* \right\rceil \right\} \right\}, ha \ p_i^{hd} > 0 \text{ és } N_i^{hd} \geq 30 \end{cases}$$

A j . napi házhozszállítási igény ekkor az alábbi módon alakul az i . típusú házhozszállítási tranzakció során, itt is normális eloszlást feltételezve. Ekkor $r_{i,j1}, r_{i,j2}$ egymástól független, 0 és 1 közötti egyenletes eloszlású véletlenszámok, $r_{i,j}^*$ pedig itt is 0 várható értékű, 1 szórással normális eloszlású véletlen szám.

$$M_{i,j}^{hd} = \begin{cases} 0, ha \ x_{i,j}^{hd} = 0 \\ \left(p_i^{hd} + \frac{p_i^{hd}}{10} * r_{i,j}^* \right) * \\ * \frac{(n_i^{box} * m_i^{box(min)} + n_i^{pal} * m_i^{pal(min)} + n_i^{oth} * m_i^{oth(min)})}{30}, \\ ha \ \sum_{k=1}^{30} M_{i,j}^{CC} = 0 \\ \frac{\sum_{k=1}^{30} M_{i,k}^{CDP^*}}{30} * \frac{8 + r_{i,j} * (12 - 8)}{10} + M_{i,j-1}^{hd_backlog}, \\ különben \end{cases}, különben$$

A fenti formulában $M_{i,j-1}^{hd_backlog}$ az előző nap során ki nem elégített házhozszállítási igényt jelenti, ami az alábbi formula szerint számítható. Ily módon a modell a házhozszállítások esetén kezeli a kielégítetlen igényeket is, ellentétben a jelenlegi rendszerrel. Az új rendszer esetén a házhozszállítási hátralékok kezelése felfogható egy új szolgáltatásként is, amelyet a konszolidációs központ alkalmazása tesz lehetővé.

$$M_{i,j}^{hd_backlog} = M_{i,j}^{hd*} - M_{i,j}^{hd}$$

A kielégítetlen igényeket kezelő Excel-modellkomponens a 4.12. ábrán látható, ilyen munkalap nincs a jelenlegi rendszer esetén, modellszinten ekkor a hátralékok kezelése az új rendszer új feladatának tekintendő.

Transport info					Home delivery demands backlog [kg/day]															
Mall ID	Supplier ID	CC ID	Shop ID	SKU ID	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SM001	SUP0019	CC001	SH0019	SKU004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM001	SUP0020	CC001	SH0020	SKU005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM001	SUP0021	CC001	SH0021	SKU003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM001	SUP0022	CC001	SH0022	SKU005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM001	SUP0023	CC001	SH0023	SKU003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM001	SUP0024	CC001	SH0024	SKU003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM001	SUP0025	CC001	SH0025	SKU002	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	9,6	=HO	21,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM001	SUP0026	CC001	SH0026	SKU008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM001	SUP0027	CC001	SH0027	SKU003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM001	SUP0028	CC001	SH0028	SKU003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM001	SUP0029	CC001	SH0029	SKU007	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM001	SUP0030	CC001	SH0030	SKU007	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM001	SUP0031	CC001	SH0031	SKU002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM001	SUP0032	CC001	SH0032	SKU005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SM001	SUP0033	CC001	SH0033	SKU006	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

4.12. ábra: Házhozszállítási hátralékok kezelése az új rendszer esetén

Ebben az esetben $M_{i,j}^{hd*}$ a ténylegesen házhoz szállítandó mennyiséget jelenti az i. típusú házhozszállítási tranzakciók során, amelyet az aktuális készletet és a korábban ki nem elégített igényeket is ellenőrizve a házhozszállítási igényeket figyelembe véve kapunk meg:

$$M_{i,j}^{hd*} = \begin{cases} 0, ha x_{i,j}^{hd} = 0 \\ \min(M_{i,j}^{hd}, K_{i,j}^{CC}) \end{cases}$$

A j. napi anyagmozgatási időszakiglet az i. típusú összevont beszállítási tranzakciók, valamint az azok által generált i. típusú konszolidált kiszállítási tranzakciók, i. típusú házhozszállítási tranzakciók és az azokhoz tartozó göngyölegkezelési tranzakciók során ekkor a konszolidációs központban:

$$T_{i,j}^{CC} = \left(\begin{aligned} & \max \left\{ \left\lceil \frac{M_{i,j}^{CC}}{m_i^{mh_max(CC)}} \right\rceil * t_i^{load_down(CC)}; \left\lceil \frac{V_{i,j}^{CC}}{V_i^{mh_max(CC)}} \right\rceil * t_i^{load_down(CC)} \right\} + \\ & \max \left\{ \left\lceil \frac{M_{i,j}^{CDP*} + M_{i,j}^{hd*}}{m_i^{mh_max(CC)}} \right\rceil * t_i^{cons(CC)}; \left\lceil \frac{V_{i,j}^{CDP*} + V_{i,j}^{hd*}}{V_i^{mh_max(CC)}} \right\rceil * t_i^{cons(CC)} \right\} + \\ & \max \left\{ \left\lceil \frac{M_{i,j}^{CDP*} + M_{i,j}^{hd}}{m_i^{mh_max(CC)}} \right\rceil * t_i^{load_up(CC)}; \left\lceil \frac{V_{i,j}^{CDP*} + V_{i,j}^{hd*}}{V_i^{mh_max(CC)}} \right\rceil * t_i^{load_up(CC)} \right\} + \\ & \max \left\{ \left\lceil \frac{M_{i,j}^{empty,CDP}}{m_i^{mh_max(CC)}} \right\rceil * t_i^{load_down(CC)}; \left\lceil \frac{V_{i,j}^{empty,CDP}}{V_i^{mh_max(CC)}} \right\rceil * t_i^{load_down(CC)} \right\} + \\ & \max \left\{ \left\lceil \frac{M_{i,j}^{empty,CC}}{m_i^{mh_max(CC)}} \right\rceil * t_i^{load_up(CC)}; \left\lceil \frac{V_{i,j}^{empty,CC}}{V_i^{mh_max(CC)}} \right\rceil * t_i^{load_up(CC)} \right\} \end{aligned} \right)$$

Ekkor a koncentrált igénypont-halmaz áruforgalmi zsilipéből a j. napon házhoz szállítandó összes árumennyiség az i. típusú házhozszállítási tranzakció során az alábbi:

$$M_j^{hd_CC} = \sum_{i=1}^N M_{i,j}^{hd*}$$

A j. napon a koncentrált igénypont-halmaz áruforgalmi zsilipébe beszállított árutömeg (N db üzlet esetén, azok házhozszállítási igényeit is kezelve) a konszolidált beszállítás során:

$$M_j^{CDP} = \sum_{i=1}^N M_{i,j}^{CDP*} + M_j^{hd_CDP}$$

A j. napon a koncentrált igénypont-halmaz áruforgalmi zsilipébe beszállított árutérfogat (N db üzlet esetén), ahol a házhoz szállítandó áru térfogata a házhoz szállítandó áru tömegével arányosan számítható:

$$V_j^{CDP} = \sum_{i=1}^N V_{i,j}^{CDP*} + V_j^{hd_CDP}$$

Itt ki kell emelnem, hogy jelenleg két különböző megoldást is vizsgálunk: a konszolidációs központ és a koncentrált igénypont-halmazok között szállíthatunk tehergépkocsikkal és a közúti vasutat, azaz villamosokat használva is, a két esetre pedig különböző formulák vonatkoznak. A házhozszállításokat csak tehergépkocsikkal fogjuk elvégezni, így azok esetén egy formula felírása elégséges lesz.

A j. napon a konszolidált beszállítások számát a konszolidációs központból a koncentrált igénypont-halmaz áruforgalmi zsilipébe, tehergépkocsi, illetve villamos alkalmazásával (utóbbi esetben először meghatározva a szükséges villamos pótkocsi számát, majd a szükséges négykocsi szerelvények számát) az alábbi formula mutatja. Tehergépkocsi és villamosok esetén is figyelembe kell venni ekkor egy r átlagos kihasználtsági tényezőt (ez a szimulációs modellezés során 90% mindkét esetre).

$$N_j^{CDP} = \left\lceil \max \left\{ \frac{C^{sup_CC_road(m)} * r^{road}}{M_j^{CDP}}; \frac{C^{sup_CC_road(V)} * r^{road}}{V_j^{CDP}} \right\} \right\rceil$$

$$N_j^{CDP(tram_trailer)} = \left\lceil \max \left\{ \frac{C^{sup_CC_tram(m)} * r^{tram}}{M_j^{CDP}}; \frac{C^{sup_CC_tram(V)} * r^{tram}}{V_j^{CDP}} \right\} \right\rceil$$

$$N_j^{CDP(tram)} = \left\lceil \frac{N_j^{CDP(tram_trailer)}}{N^{tram_trailer}} \right\rceil$$

Az MS Excel szimulációs modell konszolidált beszállításokat kezelő és a szükséges beszállítási tranzakciószámot meghatározó munkalapja a 4.13. ábrán látható.

A j. napi konszolidált beszállításokhoz tartozó, a városon belül megtett út a konszolidációs központ (amely modellszerűen a város határán, a külső környűrű mentén található) és a koncentrált igénypont-halmaz áruforgalmi zsilipje között, tehergépkocsik, illetve villamosok alkalmazása esetén:

$$S_j^{city,CDP} = N_j^{CDP} * S^{city_CC-CDP(road)}$$

$$S_j^{city,CDP(tram)} = N_j^{CDP(tram)} * S^{city_CC-CDP(tram)}$$

4.13. ábra: A konszolidált beszállításokat kezelő Excel-munkalap az új rendszerben

Ekkor a konszolidált beszállításokhoz tartozó, a j. napon vett városon belüli szállítási teljesítmény:

$$Q_j^{city,CDP} = S^{city_CC-CDP(road)} * M_j^{CDP}$$

$$Q_j^{city,CDP(tram)} = S^{city_CC-CDP(tram)} * M_j^{CDP}$$

A j. napon az üzemanyag fogyasztás tehergépkocsik esetén (gázolajfogyasztás, modellszerűen standard, gázolaj fogyasztású tehergépkocsival dolgozva) a konszolidált beszállítási tranzakciók során:

$$F_j^{CDP} = F^{road(CC)} * S_j^{city,CDP}$$

A j. napon a villamosok összes áramfogyasztása a konszolidált beszállítási tranzakciók során, kWh-ban kifejezve, a szállítási teljesítmény alapján számítva:

$$E_j^{CDP(tram)} = E^{tram} * Q_j^{city,CDP(tram)}$$

A j. napon a tehergépkocsik üzemanyag fogyasztásából számított közvetlen káros anyag kibocsátás a konszolidált beszállítási tranzakciók során 5 különböző káros anyagot vizsgálva:

$$K_j^{CO(sup,CDP)} = K^{CO(CC)} * S_j^{city,CDP}$$

$$K_j^{CO_2(sup,CDP)} = K^{CO_2(CC)} * S_j^{city,CDP}$$

$$K_j^{HC(sup,CDP)} = K^{HC(CC)} * S_j^{city,CDP}$$

$$K_j^{NO_x(sup,CDP)} = K^{NO_x(CC)} * S_j^{city,CDP}$$

$$K_j^{PM(sup,CDP)} = K^{PM(CC)} * S_j^{city,CDP}$$

A villamosokhoz tartozó közvetett káros anyag kibocsátással most nem számolunk, a közvetlen kibocsátás pedig minden vizsgált káros anyagra nézve zérus:

$$\forall \text{ káros anyagra: } K_j^{tram} = 0$$

A j. napon az áruforgalmi zsilipbe beérkező i. típusú konszolidált beszállítások (függetlenül az alkalmazott beszállító járműtől) által generált, a későbbiekben kezelendő göngyöleg tömeg:

$$M_{i,j}^{empty,CDP} = \left\{ \left[\frac{N_i^{\max(month)}}{\max\{N_i^{\max(month)}; 30\}} \right] * n_i^{empty} * m_i^{empty}, \text{ ha } x_{i,j}^{CDP} = 1 \right\}$$

0, különben

A j. napon az áruforgalmi zsilipben keletkező kezelendő göngyöleg tömeg (N db üzlet esetén):

$$M_j^{empty,CDP} = \sum_{i=1}^N M_{i,j}^{empty,CDP}$$

A j. napi göngyölegkezeléshez és az azon felüli üresjáratokhoz tartozó (azaz a koncentrált igénypont-halmaztól a központba visszatérő járatokhoz tartozó), a városon belül megtett út az áruforgalmi zsilip és a konszolidációs központ között a különböző járművek esetén:

$$S_j^{city,empty,CDP} = N_j^{CDP} * S^{city_CDP-CC(road)}$$

$$S_j^{city,empty,CDP(tram)} = N_j^{CDP(tram)} * S^{city_CDP-CC(tram)}$$

A j. napon a göngyölegkezelési szállítási teljesítmény (városon belül értelmezve), a különböző járművek esetén:

$$Q_j^{city,empty,CDP} = S^{city_CDP-CC(road)} * M_j^{empty,CDP}$$

$$Q_j^{city,empty,CDP(tram)} = S^{city_CDP-CC(tram)} * M_j^{empty,CDP}$$

A j. napon a tehergépkocsik üzemanyag fogyasztása (gázolajfogyasztás) a göngyölegkezelés és az azon felüli üresfutások során:

$$F_j^{empty,CDP} = F^{közút(CC)} * S_j^{city,empty,CDP}$$

A villamosok modellezett áramfogyasztása a göngyölegkezelés és az üresfutások során megegyezik a beszállítások során vett áramfogyasztással, mivel a megtett út is azonos, és az üresfutások esetén nem tudunk szállítási teljesítményre vetítetten számolni.

$$E_j^{empty,CDP(tram)} = E_j^{CDP(tram)}$$

A j. napon a tehergépkocsik üzemanyag fogyasztásából számított káros anyag kibocsátás a göngyölegkezelés, és az azon felüli üresfutások során 5 különböző káros anyagot vizsgálva (itt se foglalkozunk a villamosokhoz tartozó közvetett káros anyag kibocsátással):

$$K_j^{CO(empty,CDP)} = K^{CO(CC)} * S_j^{city,empty,CDP}$$

$$K_j^{CO_2(empty,CDP)} = K^{CO_2(CC)} * S_j^{city,empty,CDP}$$

$$K_j^{HC(empty,CDP)} = K^{HC(CC)} * S_j^{city,göngy,CDP}$$

$$K_j^{NO_x(empty,CDP)} = K^{NO_x(CC)} * S_j^{city,empty,CDP}$$

$$K_j^{PM(empty,CDP)} = K^{PM(CC)} * S_j^{city,empty,CDP}$$

$$\forall \text{ káros anyagra: } K_j^{empty,tram} = 0$$

A j. napi, az i. típusú konszolidált beszállítási tranzakcióhoz, az ahhoz kapcsolódó i. házhozszállítási tranzakcióhoz és az általuk generált göngyölegkezelési feladatokhoz tartozó anyagmozgatási időszükséglet a koncentrált igényponti áruforgalmi zsilipben (függetlenül a beszállítást végző járművektől), valamint a logisztikai terület és a vizsgált üzlet között:

$$T_{i,j}^{CDP} = \max \left\{ \left[\frac{M_{i,j}^{CDP*} - M_{i,j}^{hd}}{m_i^{mh_max(CDP)}} \right] * t_i^{load(CDP)}; \left[\frac{V_{i,j}^{CDP*} - V_{i,j}^{hd}}{V_i^{mh_max(CDP)}} \right] * t_i^{load(CDP)} \right\} +$$

$$\max \left\{ \left[\frac{M_{i,j}^{hd}}{m_i^{mh_max(CDP)}} \right] * t_i^{load_down(CDP)}; \left[\frac{V_{i,j}^{hd}}{V_i^{mh_max(CDP)}} \right] * t_i^{load_down(CDP)} \right\} +$$

$$\max \left\{ \left[\frac{M_{i,j}^{hd}}{m_i^{mh_max(CDP)}} \right] * t_i^{load_up(CDP)}; \left[\frac{V_{i,j}^{hd}}{V_i^{mh_max(CDP)}} \right] * t_i^{load_up(CDP)} \right\} +$$

$$\max \left\{ \left[\frac{M_{i,j}^{empty,CDP}}{m_i^{mh_max(CDP)}} \right] * t_i^{load(CDP)}; \left[\frac{V_{i,j}^{empty,CDP}}{V_i^{mh_max(CDP)}} \right] * t_i^{load(CDP)} \right\} +$$

A j. napi, az i. típusú konszolidált beszállítási tranzakcióhoz tartozó, az üzletből kielégítendő vevői igények ekkor az alábbiak (figyelembe véve azt, hogy a házhozszállítási igények külön kerülnek kielégítésre), ahol $r_{i,j}$ 0 és 1 között egyenletes eloszlású véletlen szám:

$$D_{i,j}^M = \max \left\{ 0; \left\{ \begin{array}{l} \left\lfloor \frac{\sum_{k=1}^{30} M_{i,k}^{CDP*} - M_{i,k}^{hd}}{30} * \frac{8 + r_{i,j} * (12 - 8)}{10} \right\rfloor, \text{ha } \sum_{j=1}^{30} x_{i,j}^{CDP} > 0 \\ \left\lfloor \frac{N_i^{\max(\text{month})}}{\max\{N_i^{\max(\text{month})}, 30\}} \right\rfloor * \frac{1}{30} * \\ * (n_i^{box} * m_i^{box(\min)} + n_i^{pal} * m_i^{pal(\min)} + \\ + n_i^{oth} * m_i^{oth(\min)}) \end{array} \right\}, \text{különben} \right\} - M_{i,j}^{hd}$$

A j. nap, az i. típusú konszolidált beszállítási tranzakciókhoz tartozó készlet az üzletben ekkor, figyelembe véve a vevői igények alakulását:

$$K_{i,j}^{SH} = \max\{0; K_{i,j-1}^{SH} + M_{i,k}^{CDP*} - D_{i,j}^M\}$$

Látható, hogy a modellben a készlet nem csökkenhet 0 alá, a jelenlegi rendszerhez hasonlóan nem értelmezzük a kielégítetlen igények kezelését az üzletekben (azaz a vevő nem tér vissza az adott áruért, ha azt nem kapta meg az igény felmerülésekor). Az ehhez tartozó nyitókészlet a modellben ekkor ismét az SS alapmodell szerint számolom, ahol U_i^{SH} biztonsági tényező normális eloszlás szerint, $D(D_{i,j}^M)$ pedig a vevői igények szórása.

$$K_{i,0}^{SH} = U_i^{SH} * \sqrt{D(D_{i,j}^M)} + 2 * \left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^3 D_{i,k}^M, \text{ha } \sum_{k=1}^{30} x_{i,k}^{CDP} = 0 \\ \frac{\sum_{k=1}^3 D_{i,k}^M}{\sum_{k=1}^{30} x_{i,k}^{CDP}}, \text{különben} \end{array} \right\}$$

A j. napi, az i. típusú konszolidált beszállításokhoz és azok által generált göngyölegkezelési feladatokhoz tartozó anyagmozgatási időszükséglet az üzletekben:

$$T_{i,j}^{SH} = \max \left\{ \left\lfloor \frac{M_{i,j}^{CDP*} - M_{i,j}^{hd_CDP}}{m_i^{mh_max(SH)}} \right\rfloor * (t_i^{load_down(SH)} + t_i^{mh(SH)}); \left\lfloor \frac{V_{i,j}^{CDP*} - V_{i,j}^{hd_CDP}}{V_i^{mh_max(SH)}} \right\rfloor * (t_i^{load_down(SH)} + t_i^{mh(SH)}) \right\} + \\ + \max \left\{ \left\lfloor \frac{D_{i,j}^M}{m_i^{mh_max(SH)}} \right\rfloor * t_i^{load_up(SH)}; \left\lfloor \frac{D_{i,j}^V}{V_i^{mh_max(SH)}} \right\rfloor * t_i^{load_up(SH)} \right\} + \\ + \max \left\{ \left\lfloor \frac{M_{i,j}^{empty,CDP}}{m_i^{mh_max(SH)}} \right\rfloor * t_i^{load_up(SH)}; \left\lfloor \frac{V_{i,j}^{empty,CDP}}{V_i^{mh_max(SH)}} \right\rfloor * t_i^{load_up(SH)} \right\}$$

A j. napon az áruforgalmi zsilipből kiinduló házhozszállítások (amelyeket minden esetben tehergépkocsikkal bonyolítunk le) során a koncentrált igénypont-halmazból összesen kiszorgálandó házhozszállítási igények száma:

$$N_j^{hd_CDP} = \sum_{i=1}^N N_i^{hd_dem} \quad \text{ha } x_{i,j}^{hd}=1$$

Ekkor a koncentrált igénypont-halmaztól kiinduló házhozszállítási túrák minimális száma:

$$J_j^{hd_SM} = \left\lceil \max \left\{ \frac{N_j^{hd_CDP}}{30}; \frac{M_j^{hd_CC}}{C^{hd_CC(V)} * r^{hd_CC(V)}} \right\} \right\rceil$$

Ebből számítható a túránként kiszorgálandó igénypontok száma:

$$C_j^{hd_CDP} = \left\lceil \frac{N_j^{hd_CDP}}{J_j^{hd_CDP}} \right\rceil$$

A házhozszállítások által kiszorgált terület ekkor:

$$A_j^{hd_CDP} = \max\{A_i^{hd}\}$$

Az MS Excel alapú szimulációs modell a koncentrált igénypont-halmaztól kiinduló házhozszállításokat kezelő munkalapja a 4.14. ábrán látható. Ezek a számítások a jelenlegi rendszer esetében ehhez hasonlóan, de minden egyes üzletre külön végzendők el.

Így már a jelenlegi rendszerhez hasonló módon számítható a Clarke&Wright féle VRP-beclső formulákkal a házhozszállítások során megtett távolság a j. napon, a 4.2. táblázatban látható formulákat alkalmazva.

$$S_j^{hd_CDP} = J_j^{hd_CDP} * (L_j^{in_out} + L_j^{area})$$

SZUM

=KEREK.FEL(MAX(E10/30;E3/(INPUTISCN515*INPUTISCN517));0)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Daily home deliveries from SM cross docks to demand points [kg]																	
2	Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3	SM001	289,48	247,39	303,32	159,56	268,27	271,42	274,02	231,60	244,28	262,49	250,30	165,71	129,33	130,24	486,23	277,81	243,90
4	SM006	903,89	957,20	913,44	350,10	958,69	776,78	886,46	814,74	883,33	970,73	1015,35	671,01	896,86	931,89	849,84	843,48	913,84
5	SM018	744,42	718,74	575,03	657,61	688,38	683,71	624,63	693,13	672,40	353,59	662,98	685,37	626,76	642,27	637,28	687,63	639,82
6	Sum demand [kg/day]	1937,79	1923,33	1791,78	1167,27	1915,34	1731,91	1785,11	1739,47	1800,00	1586,81	1928,63	1522,09	1652,95	1704,39	1973,35	1808,92	1797,56
8	Number of demand points/shopping mall/day (N)																	
9	Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10	SM001	337	332	337	308	337	318	337	296	229	337	306	308	286	288	337	337	283
11	SM006	197	197	174	159	197	200	197	197	197	197	187	159	188	195	197	188	202
12	SM018	434	431	404	351	381	405	390	345	404	430	408	398	418	431	438	415	385
13	Number of demand points (N)	968	960	915	818	915	923	924	838	830	964	901	865	892	914	972	940	870
15	Minimum number of routes/shopping mall/day (J)																	
16	Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
17	SM001	12	12	12	=KEREK	12	11	12	10	8	12	11	11	10	10	12	12	10
18	SM006	7	7	6	6	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7
19	SM018	15	15	14	12	13	14	13	12	14	15	14	14	14	15	15	14	13

HOME DEL DEM (W)

HOME DEL CG-SM (W)

CG-SM DELIVERIES

DISTANCE (K)

PERFORMANCE (C)

CONSUMPTION (C)

EMISSION (C)

HOME DEL SM (W)

SM MAT HAND (H)

CG (C)

4.14. ábra: A koncentrált igénypont-halmazról kiinduló házhozszállításokat kezelő Excel-munkalap

4.2. táblázat: A Clarke&Wright VRP-becslő formulák alkalmazása a matematikai modellben az új rendszer esetén

Be- és kihaladási út ($L_j^{in_out}$)	$1,189 * \sqrt{\frac{2 * A_j^{hd_CDP}}{\pi}}$	$0,829 * \sqrt{A_j^{hd_CDP} * N_j^{hd_CDP}} * \frac{C_j^{hd_CDP}}{N_j^{hd_CDP}}$
Területen megtett út (L_j^{area})	$0,680 * \sqrt{A_j^{hd_CDP} * N_j^{hd_CDP}} * \frac{C_j^{hd_CDP}}{N_j^{hd_CDP}}$	$0,543 * \sqrt{A_j^{hd_CDP} * N_j^{hd_CDP}} * \frac{1}{C_j^{hd_CDP}}$
Feltétel	$7 < C_{i,j}^{h\acute{s}z} < 1,5 * \frac{N_j^{hd_CDP}}{C_j^{hd_CDP}}$	különben

A j. napon az üzemanyag fogyasztás (gázolajfogyasztás, modellszerűen standard, gázolaj meghajtású házhozszállító kistehergépkocsival dolgozva) a koncentrált igénypontri áruforgalmi zsiliből kiinduló házhozszállítások során:

$$F_j^{hd_CDP} = F^{hd_CC} * S_j^{hd_CDP}$$

A j. napon a házhozszállítás során értelmezett üzemanyag fogyasztásból számított káros anyag kibocsátás a beszállítások során 5 különböző káros anyagot vizsgálva:

$$K_j^{CO(hd_CDP)} = K^{CO(hd_CC)} * S_j^{hd_CDP}$$

$$K_j^{CO_2(hd_CDP)} = K^{CO_2(hd_CC)} * S_j^{hd_CDP}$$

$$K_j^{HC(hd_CDP)} = K^{HC(hd_CC)} * S_j^{hd_CDP}$$

$$K_j^{NO_x(hd_CDP)} = K^{NO_x(hd_CC)} * S_j^{hd_CDP}$$

$$K_j^{PM(hd_CDP)} = K^{PM(hd_CC)} * S_j^{hd_CDP}$$

Ezzel felírtam a logisztikai folyamatok (fizikai folyamatok) matematikai modelljét a teljes jelenlegi, valamint a vizsgált új rendszerre vonatkozólag is. Ezt a matematikai modellt valósítja meg az MS Excel alapú szimulációs modellem. Az Excelben mind a jelenlegi, mind pedig az új rendszerhez tartozik még egy kísérlettervező komponens, amely megadott számú kísérletet hajt végre és ki is értékeli azokat. Ez a komponens a 4.15. ábrán látható.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Count Of Experiments	100	NR	Sum_WE	Sum_VO	Sum_DELP_C	Sum_DELP_L	Sum_COTR	Sum_DIST_C	Sum_DIST_L	Sum_BEN	Sum_DIE
2	Reliability	0.95	1	1406949	5691,583008	23218,04883	120459,8281	3396	50758	229406	1182,5	16490,2382
3	Error	0.05	2	1403303	5568,744629	22575,58203	161150,1563	3415	51224	281709	1073,968018	20223,1464
4	t	1,9842	3	1409444	5777,587402	24538,19531	101555,4844	3386	49571	242497	683,184021	17630,0273
5	Create Experiments		4	1336679	5491,76416	22664,55664	163163,5781	3402	51933	297437	858,882019	21238,6210
6			5	1348004	5675,933594	23272,25781	150118,4375	3414	52225	263547	808,2280273	19372,2871
7			6	1301889	5583,670898	23711,83594	110017,2969	3400	51861	211806	1313,650024	15585,8066
8			7	1367763	5630,130859	24378,10938	107191,8828	3378	50626	240014	1046,534058	17200,3945
96	Number of experiments	507	95	1359081	5553,631836	23741,08984	170583,0625	3392	50447	249991	1049,973999	18274,5585
97			96	1342625	5605,153809	21523,78516	113014,1016	3390	50220	245636	765,7440186	17719,5156
98			97	1352567	5550,385742	23595,08398	100933,2813	3399	50853	221579	972,9180298	16136,0615
99			98	1355510	5610,901367	23741,26953	115777,3438	3389	52156	238078	938,0880127	17464,5855
100			99	1394865	5646,062012	23880,42969	135488,8125	3409	51092	229281	685,4199829	17152,3886
101			100	1312056	5532,428711	21942,20898	94596,78125	3417	53945	244214	1012,219971	17561,6230
102												
103			Minimum	1275731	5377,721191	21523,78516	66929	3360	49476	196678	621,9520264	14795,6396
104			Maximum	1427057	5777,587402	24936,4043	173921,5781	3451	54161	297437	1369,722046	21238,6210
105			Mean	1346124,21	5590,377964	23206,16576	123762,9831	3396,71	51284,81	240739,75	923,7234241	17541,666
106			St.Deviance	31805,40635	86,45700054	797,4469692	26612,9694	16,48525206	99,7241306	19738,20424	158,3612456	1284,72370
107			St.Error	3180,540635	8,645700054	79,74469692	2661,29694	1,648525206	9,97241306	1973,820424	15,83612456	128,472370
108			Confidence Lbound	1339813,327	5573,223019	23047,93498	118482,3926	3393,438968	51086,44304	236823,2621	892,3011173	17286,7496
109			Confidence Ubound	1352435,093	5607,932908	23364,39654	129043,5736	3399,981032	51483,17696	244656,2379	955,1457309	17796,5837
110				0,870164067	0,376666896	1,896666896	22,81878607	0,027004758	0,608440720	10,596662571	16,206677342	0,447362306

4.15. ábra: Kísérlettervező komponens az MS Excel alapú szimulációs modellben

4.3. A költségstruktúra matematikai modelljének összefoglalása

A fizikai folyamatok matematikai modelljéhez tartozik még a költségstruktúra matematikai modellje is, amelyet egy korábbi projekt során készítettünk el. A költségek vizsgálatáról akkor TDK-dolgozat [31] és egy publikáció [32] is készült. Diplomamunkámban terjedelmi okok miatt a költségstruktúra matematikai modelljét csak összefoglalni tudom. A költségelemeket háromdimenziós struktúrában, alapvetően a folyamatok szerint tudjuk felírni. Az indexelés logikája az alábbi: első index minden esetben a vizsgált folyamat (L: rakodás, T: szállítás, S: tárolás, I: intralogisztikai operáció, A: adminisztráció), második index a vállalat azonosítója (i. vállalat jelenleg), harmadik index pedig a költséghely azonosítója (jelen esetben a j. adott típusú költséghely). A következőkben a matematikai formulákat általános alakjukban mutatom be, azonban egyes elemei nem szerepelnek minden különböző típusú költséghelynél, pl. konszolidációt csak konszolidációs központban értelmezünk.

Elsőként a rakodási költséget írom fel, ez minden esetben fel- és lerakodási költségből áll. M jelöli a fel-, illetve lerakodott árumennyiséget (tömegegységben, figyelembe véve minden esetben a rakodásra kerülő áru, göngyöleg, és házhozszállításra kerülő áru mennyiségét is), c pedig a fajlagos rakodási költséget (pénzegység/tömegegység). Rakodási költség értelmezhető a beszállítói telephelyeken, a konszolidációs központban, a koncentrált igénypont-halmaz logisztikai területein (áruforgalmi zsilipénél) és az üzletben (illetve hozzá tartozó raktárban). Az i . vállalat rakodási költsége a j . költséghelyen:

$$C_{L,i,j} = c_{load_up_{L,i,j}} * M_{load_up_{L,i,j}} + c_{load_down_{L,i,j}} * M_{load_down_{L,i,j}}$$

Az i . vállalat összes rakodási költsége az általa használt N db k . típusú költséghelyen: $C_{k,L,i} = \sum_{j=1}^N C_{L,i,j}$.

Következő a szállítási költség, amelyet csak a beszállítási útvonalakon értelmezünk. A szállítási költség felbontható futásteljesítmény-arányos és időarányos költségre.

A futásteljesítmény arányos költség három tagból áll: kiállási költségből, a rakott menet költségéből, valamint az ahhoz tartozó üres menet vagy göngyölegkezelési feladat költségéből. Ezen felül megkülönböztetem a formulában a beszállítási tranzakciókat, valamint a házhozszállítási tranzakciókat. N a szállítási tranzakciók száma, S az adott feladat során megtett út (távolságegységben), c pedig a fajlagos költség (pénzegység/kiállítások száma, illetve pénzegység/távolságegység). Az i. vállalat menetteljesítmény-arányos szállítási költsége a j. beszállítási útvonalon:

$$C_{F_{T,i,j}} = N_{T,i,j}^{sup} * \left(c_{Out_{T,i,j}}^{sup} + c_{LT,i,j}^{sup} * S_{LT,i,j}^{sup} + c_{UL/inv_{T,i,j}}^{sup} * S_{UL/inv_{T,i,j}}^{sup} \right) + N_{T,i,j}^{hd} * \left(c_{Out_{T,i,j}}^{hd} + c_{LT,i,j}^{hd} * S_{LT,i,j}^{hd} + c_{UL/inv_{T,i,j}}^{hd} * S_{UL/inv_{T,i,j}}^{hd} \right)$$

Az időarányos költségben megjelenik a c_t időarányos fajlagos költség (pénzegység/időegység), a v átlagos sebesség (külön meghatározva a beszállításokra és a házhozszállításokra, mivel más útvonalakról van szó) és a t_{OP} operációs idő (időegységben, szintén megkülönböztetve a különböző feladatokra). Az i. vállalat időarányos szállítási költsége a j. beszállítási útvonalon:

$$C_{t_{T,i,j}} = N_{T,i,j}^{sup} * c_{t_{T,i,j}}^{sup} * \left(\frac{S_{LT,i,j}^{sup} + S_{UL/inv_{T,i,j}}^{sup}}{v_{T,i,j}^{sup}} + t_{OP_{T,i,j}}^{sup} \right) + N_{T,i,j}^{hd} * c_{t_{T,i,j}}^{hd} * \left(\frac{S_{LT,i,j}^{hd} + S_{UL/inv_{T,i,j}}^{hd}}{v_{T,i,j}^{hd}} + t_{OP_{T,i,j}}^{hd} \right)$$

Az i. vállalat összes szállítási költsége az általa használt N db szállítási útvonalon:

$$C_{k,T,i} = \sum_{j=1}^N C_{F_{T,i,j}} + C_{t_{T,i,j}}$$

Következő a tárolási költség, amely a beszállítói telephelyeken, a konszolidációs központban, a koncentrált igénypont-halmaz logisztikai területén (áruforgalmi zsilipében), illetve az üzletekben is fellép. Ez öt részre bontható fel: betárolási költségre, kitárolási költségre, tárolási költségre, a készletben lekötött tőkére és megrendeléskezelési költségre, természetesen minden esetben figyelembe véve az inverz logisztikai feladat során kezelendő árumennyiséget is. M jelöli a kezelt árumennyiséget (tömegegységben), a hozzájuk tartozó c az adott álfolyamathoz tartozó fajlagos költséget (pénzegység/tömegegység), N a megrendelési tranzakciók száma, c_{mr} pedig a

megrendelés-kezelés fajlagos költsége (pénzegység/megrendelés). Az i. vállalat összes tárolási költsége a j. költséghelyen:

$$C_{S,i,j} = c_{inS,i,j} \cdot M_{inS,i,j} + c_{outS,i,j} \cdot M_{outS,i,j} + c_{tS,i,j} \cdot M_{tS,i,j} + c_{\lambda S,i,j} \cdot M_{stockS,i,j} + c_{ordS,i,j} \cdot N_{S,i,j}$$

Az i. vállalat összes tárolási költsége ekkor az általa használt N db k. típusú költséghelyen: $C_{k,S,i} = \sum_{j=1}^N C_{S,i,j}$.

Negyedik folyamattípus az intralogisztikai operáció. Ezen belül megkülönböztethető kézi és gépi anyagmozgatás, komissiózás és konszolidáció. Az intralogisztikai operáció költségét értelmezzük a beszállítói telephelyeken, a konszolidációs központban, a koncentrált igénypont-halmaz logisztikai területein (áruforgalmi zsilipnél), a koncentrált igényponti belső anyagmozgatási útvonalakon és az üzletekben. Komissiózást nem értelmezzük a koncentrált igénypont-halmaz logisztikai területein és a belső anyagmozgatási útvonalakon, konszolidációt pedig csak a konszolidációs központban értelmezzük. T jelöli az adott feladattal töltött időt (időegységben), c pedig a hozzá tartozó fajlagos költséget (pénzegység/időegység). Az i. vállalat összes intralogisztikai operációs költsége a j. költséghelyen:

$$C_{I,i,j} = c_{I(hand),i,j} \cdot T_{I(hand),i,j} + c_{I(mach),i,j} \cdot T_{I(mach),i,j} + c_{I(pick),i,j} \cdot T_{I(pick),i,j} + c_{I(cons),i,j} \cdot T_{I(cons),i,j}$$

Az i. vállalat összes intralogisztikai operációs költsége az általa használt N db k. típusú költséghelyen: $C_{k,I,i} = \sum_{j=1}^N C_{I,i,j}$.

Utolsó folyamattípus az adminisztráció, amelyet a beszállítási és anyagmozgatási útvonalak kivételével minden költséghelyen értelmezzük. Ide tartozik az áru beérkeztetése, regisztrálása, számlázás stb., azaz minden tranzakció rögzítése, adminisztrálása. N jelöli az adminisztrációs feladatok számát, c pedig a hozzá tartozó fajlagos költséget (pénzegység/adminisztrációs feladat). Az i. vállalat összes adminisztrációs költsége a j. költséghelyen.

$$C_{A,i,j} = c_{A,i,j} \cdot N_{A,i,j}$$

Az i. vállalat összes adminisztrációs költsége az általa használt N db k. típusú költséghelyen: $C_{k,A,i} = C_{A,i} = \sum_{j=1}^N C_{A,i,j}$.

Így felírtam az összes folyamattípusra vonatkozó költségeket. Ez alapján az i. vállalat összes költsége az összes k. típusú költséghelyen (azaz pl. az összes költség a beszállítói telephelyeken):

$$C_{k,i} = \sum_{l \in \{L,T,S,I,A\}} C_{k,l,i}$$

Ezeket összegezve (K db különböző típusú költséghelyet különböztetve meg) megkapom az i. vállalat összes költségét az adott koncentrált igénypont-halmaznál:

$$C_i = \sum_{k=1}^K C_{j,i}$$

Az egyes résztvevő vállalatok költségeit összegezve pedig megkapom az adott koncentrált igénypont-halmaz teljes logisztikai rendszerére vonatkozó összes költséget:

$$C_{CDP} = \sum_{i=1}^p C_i$$

Így előállt a költségstruktúra matematikai modellje, amellyel a jelenlegi és a felvázolt új logisztikai rendszer is leírható mezoszkópikus szinten. Ezt a MS Excel alapú szimulációs modellhez illesztve végrehajthatóvá váltak a költségekkel kapcsolatos számítások és összehasonlíthatom a rendszerkonceptiókat. A költségek számítása során becsült költségekkel dolgoztam [31], mivel nem álltak rendelkezésre valós költségadatok. Ezek a fajlagos költségek a 3. mellékletben található, intervallumosan megadva, az Excel modell ezen határok között véletlenszerűen generálta a fajlagos értékeket.

Az Excel-modellben nem volt lehetőség egyszerre három tengelyen dolgozni, így a költségek üzletenként először folyamatok, majd utána költséghelyek szerint kerülnek kiszámításra a 4.16. ábrán látható módon.

=J37*K37+L37*M37+N37*O37+P37*Q37+R37*S37																		
	A	B	C	D	O	P	Q	R	S	T	U	V	W					
1	Transport informations				SUP costs													
2					Storage costs						Intralogistical oper							
3	Mall ID	Supplier ID	Shop ID	SKU ID	c(storage)	Q(stock)	kg	c(stock)	n(order)	pcs	c(order)	C(storage)	T(mh.hand)	min	c(mh.hand)	T(mh.mach)	min	c(ml)
34	SM001	SUP0031	SH0031	SKU002	7,895		0	0		10	282	8386,376591		0	0		90	18,
35	SM001	SUP0032	SH0032	SKU005	7,036		0	0		5	261	1667,792648		0	0		65	17,
36	SM001	SUP0033	SH0033	SKU006	5,434		0	0		5	477	4980,494893		0	0		190	
37	SM001	SUP0034	SH0034	SKU007	7,087		0	0		10	223	=J37*K37+L3		0	0		130	18,
38	SM001	SUP0035	SH0035	SKU003	4,418		0	0		9	414	14203,59569		0	0		1027	
39	SM001	SUP0036	SH0036	SKU007	4,864		0	0		10	482	5087,489774		0	0		160	
40	SM001	SUP0037	SH0037	SKU001	6,37		0	0		10	329	12885,92332		0	0		549	18,
41	SM001	SUP0038	SH0038	SKU003	7,315		0	0		3	356	1165,676502		0	0		36	16,
42	SM001	SUP0039	SH0039	SKU007	4,162		0	0		2	435	1255,348243		0	0		24	
43	SM001	SUP0040	SH0040	SKU006	4,981		0	0		1	303	361,6817568		0	0		9	19,
44	SM001	SUP0041	SH0041	SKU003	7,96		0	0		10	237	3075,912256		0	0		80	16,
45	SM001	SUP0042	SH0042	SKU003	6,309		0	0		1	303	320,3264592		0	0		16	
46	SM001	SUP0043	SH0043	SKU003	4,691		0	0		5	415	13525,82703		0	0		200	19,
47	SM001	SUP0044	SH0044	SKU007	7,055		0	0		8	458	7488,125639		0	0		130	
48	SM001	SUP0045	SH0045	SKU006	6,209		0	0		6	235	2881,965405		0	0		84	18,
49	TOTAL														COSTS			

4.16. ábra: A költségeket számító Excel-munkalap az új rendszer esetén

5. Szimulációs modell építése, tesztelése, eredmények elemzése

Az előbbiekben bemutatott módon most már rendelkezésre áll a teljes folyamat matematikai és MS Excel alapú szimulációs modellje (ez pontosan a matematikai modellt képezi le, mivel együttesen kerültek fejlesztésre), így a rendszer mezoszkópikus szinten már teljes körűen vizsgálható. A korábbi adatgyűjtésünkben 3 bevásárlóközpont 327 üzletére vonatkozó adatokat elemeztem, ezek közül 178 adatsort használtunk fel a szimulációs futtatásokhoz a korábbiakban [27] [28], az Excel-alapú szimulációs futtatások során ezzel tudtam dolgozni. Ez a modell azonban túl nagyméretűvé, ezáltal lassúvá vált, valamint megjelenítésre sem alkalmas önmagában, így szükségesnek tartottam felépíteni a szimulációs modellt egy korszerű szimulációs eszközben is.

Az új eszközben először pilot jelleggel kevesebb üzlet (pl. egy bevásárlóközpont üzleteinek) folyamatait fogom felépíteni és vizsgálni, azonban a cél egy olyan szimulációs modell felépítése, amely a jövőben bármely koncentrált igénypont-halmaz jelenlegi és új city logisztikai rendszereinek vizsgálatára alkalmas lesz. Ebben a fejezetben ennek a pilot jellegű modellnek a felépítését fogom bemutatni. Bemutatom ennek az új szoftvernek a kiválasztási folyamatát, az ebben felépített pilot jellegű szimulációs modell felépítését a jelenlegi és az új rendszerre, első lépésben csak közúti járműveket vizsgálva, valamint a modell tesztelését, validációját és verifikációját, végül pedig az új eszközzel kapott (egy bevásárlóközpont üzleteire vonatkozó) eredmények, illetve az előbbiekben már bemutatott MS Excel alapú modell használatával kapott részletesebb (3 bevásárlóközpont 178 üzletét vizsgálva, a tehergépkocsit és a villamost alkalmazó megoldásra is vonatkozó) eredmények elemzését.

5.1. Szimulációs szoftver kiválasztása

5 szoftvert vizsgáltunk meg ebben a lépésben. Az első az eddig is használt MS Excel, a további szoftverek pedig specifikus szimulációs eszközök, amelyek alkalmasak kifejezetten ellátási láncok szimulációjára is. Fő tulajdonságaik az 5.1. táblázatban láthatók.

A kiválasztáshoz a COMBI-módszert választottam, amely egy a különböző tulajdonságokat súlyozottan vizsgáló multikritériumos megoldás. Legfontosabb szempontnak a várható gyorsaságot és az ellátási láncok szimulációját jelöltem ki, illetve fontos még a szoftver rendelkezésre állása is. Az 5.2. táblázatban látható a szempontokhoz tartozó súlysúlyszámok meghatározása. A mátrixban 2-es esetén a sorban

szereplő szempont a fontosabb, 1-es esetén azonos fontosságúak, 0 esetén pedig az oszlopban szereplő szempontot kell nagyobb súllyal figyelembe venni.

5.1. táblázat: A vizsgált szimulációs eszközök fő tulajdonságai [45] [46] [47] [48] [49]

	Rendelkezésre állás, elérhetőség	Gyorsaság	Ellátási láncok szimulációja	Megjelenítés	Modell mérete az elérhető verzióban
MS Excel	Rendelkezésre áll	Lassúvá vált modell	Nincs beépítve	Nincs beépítve	Túl nagyra nőtt modellek már nem kezelhetőek
Simul8	ALRT-n rendelkezésre áll	Specifikus szimulációs szoftver, gyors	Kifejezetten ellátási láncok és logisztikai rendszerek szimulációja	2D megjelenítés	Nem limitált
AnyLogic	Personal Learning Edition ingyenesen elérhető	Specifikus szimulációs szoftver, gyors	Külön modul ellátási láncok szimulációjára	2D és 3D megjelenítés	Limitált
FlexSim	Ingyenes próbaverzió elérhető	Specifikus szimulációs szoftver, gyors	Megvalósítható benne kifejezetten ellátási láncok szimulációja is	2D és 3D megjelenítés	Limitált
Arena	Ingyenes próbaverzió elérhető	Specifikus szimulációs szoftver, gyors	Megvalósítható benne kifejezetten ellátási láncok szimulációja is	2D és 3D megjelenítés	Limitált
SimChain	Nem érhető el ingyenes verzió	Specifikus szimulációs szoftver, gyors	Megvalósítható benne kifejezetten ellátási láncok szimulációja is	2D megjelenítés	Nincs elérhető verzió

5.2. táblázat: Súlyszámok meghatározása COMBI-módszerrel

	Elérhetőség	Gyorsaság	Ellátási lánc	Megjelenítés	Méret	Súly
Rendelkezésre állás, elérhetőség		0	0	2	2	4
Gyorsaság	2		1	2	2	7
Ellátási láncok szimulációja	2	1		2	2	7
Megjelenítés	0	0	0		1	1
Modell mérete az elérhető verzióban	0	0	0	1		1

Az 5.3. táblázatban látható, hogy a korábbi táblázatban feltüntetett tulajdonságok alapján az egyes szoftverek milyen értékelő pontszámokat kaptak.

5.3. táblázat: A vizsgált szimulációs szoftverek értékelő pontszámai

	Elérhetőség	Gyorsaság	Ellátási lánc	Megjelenítés	Méret
MS Excel	5	1	1	1	1
Simul8	5	5	3	3	5
AnyLogic	4	5	5	5	4
FlexSim	2	5	3	5	3
Arena	2	5	3	5	3
SimChain	1	5	3	3	1

Ezen adatok alapján meghatározhattam a preferenciahányadosokat, amelyek szorzatait soronként összegezve az 5.4. táblázatban látható módon megkaptam a vizsgált eszközök sorrendjét.

5.4. táblázat: Szimulációs eszköz kiválasztása COMBI-módszerrel

	MS Excel	Simul8	Any-Logic	Flex-Sim	Arena	Sim-Chain	Sorrend
MS Excel	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6
Simul8	2562890625,0	1,0	0,1	39,1	39,1	3125,0	2
AnyLogic	50000000000,0	19,5	1,0	762,1	762,1	60966,3	1
FlexSim	65610000,0	0,0	0,0	1,0	1,0	80,0	3
Arena	65610000,0	0,0	0,0	1,0	1,0	80,0	3
SimChain	820125,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	5

Láthatjuk, hogy az AnyLogic szimulációs program került kiválasztásra így, amely egy ellátási láncok szimulációjára kifejlesztett modullal is rendelkező, a folyamatok 2, illetve 3 dimenzióban is megjeleníteni képes eszköz. Ebben fogom következő lépésként felépíteni a szimulációs eszközt (az üzlet egy kisebb körére) az előbbi fejezetben bemutatott matematikai modell alapján, azt remélve, hogy a folyamatokat gyorsabban tudjuk majd elemezni a későbbiek során. Megjegyzendő, hogy a korábbiakban alkalmazott MS Excel kapta a leggyengébb értékelést, azonban mint azt korábban is írtam, első lépésben ebben tudtuk a legegyszerűbben felépíteni a modellt, és ez az eszköz is számos értékes adatot szolgáltatott számunkra a szimuláció során.

5.2. Modellépítés az AnyLogic szimulációs eszközben

Az AnyLogic szimulációs szoftverben végzett modellépítési folyamat hasonló a matematikai modell építéséhez, valamint az azt egy az egyben leképző MS Excel alapú szimulációs modell építéséhez, azonban bizonyos pontokon máshogy kell megvalósítani a modell egyes funkcióit, illetve a folyamatokat, ebben a fejezetben ezeket fogom

részletesebben bemutatni. Az itt kevésbé részletezett rendszerelemek leképezése teljes mértékben a korábbiakhoz hasonló módon történt.

A modellt úgy építettem fel, hogy az leképezze a matematikai modellt. Elsőként egy pilot jellegű adatcsoportot modellezek, ez pedig a korábban vizsgált koncentrált igénypont-halmazok (esetünkben bevásárlóközpontok) közül a legkisebb méretű, mivel ezzel kapcsolatban kaptuk az adatgyűjtés során a legjobb minőségű, azaz legkevésbé hiányos adatsorokat, az üzletek alacsony száma pedig lehetővé teszi a modellépítés során a folyamatok egyszerűbb áttekintését.

A modellépítés két fő részre bontható: a jelenlegi rendszer modelljének felépítésére (a matematikai modell alapján), és az új rendszer modelljének felépítésére, amit a jelenlegi rendszer modelljéből alakítottam át, a matematikai modellt alapul véve. Az AnyLogic-ban elsősorban ágens alapú szimulációt tudunk készíteni [50], azaz minden objektumunk egy ágensnek (agent-nek, más megfogalmazás szerint ügynöknek) feleltethető meg a modellépítés folyamán.

5.2.1. A jelenlegi rendszer modelljének felépítése

Elsőként tehát a jelenlegi rendszer modelljét építettem fel, ennek első lépése az adatbázis előkészítése volt. Az adatbázis előkészítése során eltávolítottam az adataink közül a hiányos adatsorokat, így az 51 üzletre vonatkozó adatsorokból 40 maradt meg. Ezek esetében a több beszállítóval rendelkező üzletekhez új rekordot rendeltem, külön beszállítóazonosítóval, mivel ezt az AnyLogic modell könnyebben fogja kezelni, valamint minden egyes sorhoz hozzárendeltem néhány új paramétert, amelyeket a későbbiekben felhasználtam, azonban nem a kérdőíves adatgyűjtésből származnak (pl. a beszállítások maximális napi és havi száma, fajlagos fogyasztási és kibocsátási paraméterek). Utolsó lépésként szükség volt konkrét lokációt rendelni az üzletekhez és a beszállítókhöz, mivel a megjelenítésre is alkalmas szimulációs eszközben a szimulációt valós térképen tudjuk végrehajtani. Az üzletek így koordinátákat kaptak a valós pozíciójuk alapján, a vizsgált koncentrált igénypont-halmazon (esetünkben bevásárlóközponton) belül, a beszállítókhöz pedig az ismert adatok alapján (városon kívüli vagy belüli elhelyezkedés, és az üzlettől vett becsült, intervallumosan adott távolság) véletlenszerűen rendeltem koordinátákat, amelyek minden futtatás esetén változnak az adott intervallumon belül.

Ezeket követően importáltam az adatbázist a szimulációs szoftverbe, ahol testre szabtuk az 5.1. ábrán látható módon.

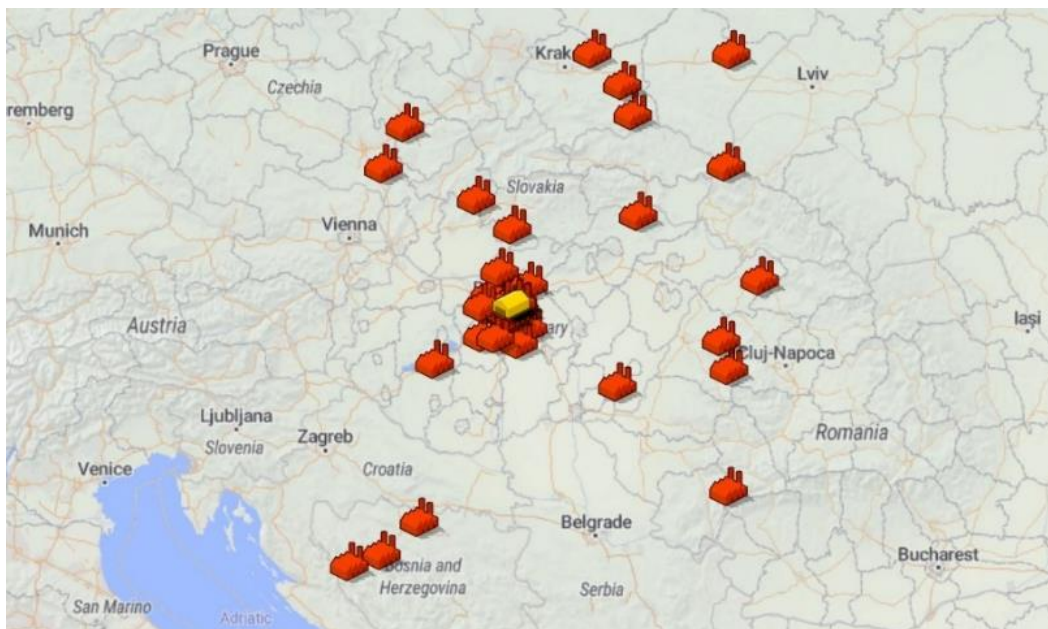
	data_id	shop_id	sup_id	cdpid	name	area	project	year	profile1	pro
1	106	SH106	SUP1061	Corvin Plaza	Hervis	P1 parkolószint	Hajtás-Pajtás	2,016	16	
2	106	SH106	SUP1062	Corvin Plaza	Hervis	P1 parkolószint	Hajtás-Pajtás	2,016	16	
3	107	SH107	SUP1070	Corvin Plaza	Buttlers	Foldszint	Hajtás-Pajtás	2,016	1	
4	108	SH108	SUP1080	Corvin Plaza	Játék-Gyermek		Hajtás-Pajtás	2,016	9	
5	110	SH110	SUP1100	Corvin Plaza	DM	P1 parkolószint	Hajtás-Pajtás	2,016	7	
6	111	SH111	SUP1110	Corvin Plaza	Alexandra	Foldszint	Hajtás-Pajtás	2,016	5	
7	112	SH112	SUP1120	Corvin Plaza	Cropp	1. szint	Hajtás-Pajtás	2,016	2	
8	113	SH113	SUP1130	Corvin Plaza	Háda	P1 parkolószint	Hajtás-Pajtás	2,016	2	
9	114	SH114	SUP1141	Corvin Plaza	Reserved	Foldszint	Hajtás-Pajtás	2,016	15	
10	114	SH114	SUP1142	Corvin Plaza	Reserved	Foldszint	Hajtás-Pajtás	2,016	15	
11	116	SH116	SUP1160	Corvin Plaza	Vision Express	P1 parkolószint	Hajtás-Pajtás	2,016	3	
12	117	SH117	SUP1170	Corvin Plaza	Scitec	P1 parkolószint	Hajtás-Pajtás	2,016	4	
13	118	SH118	SUP1180	Corvin Plaza	Cosmos City	P1 parkolószint	Hajtás-Pajtás	2,016	15	
14	119	SH119	SUP1190	Corvin Plaza	Harmónia Reformház	P1 parkolószint	Hajtás-Pajtás	2,016	3	
15	119	SH119	SUP1190	Corvin Plaza	Harmónia Reformház	P1 parkolószint	Hajtás-Pajtás	2,016	3	
16	121	SH121	SUP1210	Corvin Plaza	CCC	Foldszint	Hajtás-Pajtás	2,016	2	
17	122	SH122	SUP1221	Corvin Plaza	TopShop	P1 parkolószint	Hajtás-Pajtás	2,016	2	
18	122	SH122	SUP1222	Corvin Plaza	TopShop	P1 parkolószint	Hajtás-Pajtás	2,016	2	
19	123	SH123	SUP1230	Corvin Plaza	Superphone GSM	P1 parkolószint	Hajtás-Pajtás	2,016	13	
20	124	SH124	SUP1240	Corvin Plaza	Alma Gyógyszertár	P1 parkolószint	Hajtás-Pajtás	2,016	3	
21	125	SH125	SUP1250	Corvin Plaza	Calzedonia	Foldszint	Hajtás-Pajtás	2,016	15	
22	126	SH126	SUP1260	Corvin Plaza	Pupa	Foldszint	Hajtás-Pajtás	2,016	7	
23	127	SH127	SUP1270	Corvin Plaza	Pesti Ékszer	Foldszint	Hajtás-Pajtás	2,016	14	
24	128	SH128	SUP1281	Corvin Plaza	Studio Uomo	1. szint	Hajtás-Pajtás	2,016	15	
25	128	SH128	SUP1282	Corvin Plaza	Studio Uomo	1. szint	Hajtás-Pajtás	2,016	15	
26	129	SH129	SUP1290	Corvin Plaza	Tatuum	Foldszint	Hajtás-Pajtás	2,016	15	

5.1. ábra: Az AnyLogic-ba importált adatbázis

Következő lépésben felvettem az üzleteket, a bevásárlóközpont rakodóját és a beszállítókat reprezentáló ágenseket a fő ágensre (Main agent, ez a modell alapjául szolgáló objektum, ezen belül kerültek felvételre a további ágensek). A rakodót (beszállítói udvart) egyszerű ágensként vettem fel, nem rendeltünk hozzá tulajdonságokat, az üzleteket, illetve beszállítókat viszont ágensek populációjaként vettem fel, az adatbázis alapján, az adatbázis egyes sorait hozzárendelve az adott tranzakcióhoz tartozó üzlethez, illetve adott tranzakcióhoz tartozó beszállítóhoz, valamint hozzárendeltük az adatbázisban megadott koordinátákat az egyes ágensekhez. Az objektumok elhelyezkedése így az 5.2., illetve 5.3. ábrákon látható, pirossal a beszállítók, zölddel az üzletek, sárgával pedig a koncentrált igénypont-halmaz logisztikai területe.



5.2. ábra: Rakodó és üzletek elhelyezkedése térképen, AnyLogic-ban



5.3. ábra: A vizsgált koncentrált igénypont-halmaz és a beszállítók térképen, AnyLogic-ban

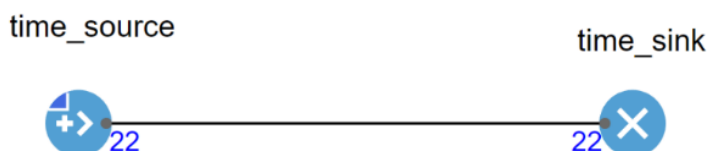
Az igénypontok és a beszállítók létrehozása után létrehoztam a járművek, illetve az üzletek anyagmozgató operátorainak populációját, előbbiek fogják a beszállítók és a koncentrált igénypont-halmaz között szállítani az árut, az utóbbiak pedig a beszállítói udvarból az üzletekig mozgatják azt. Ezeket az ágens-populációkat is összekötöttem az adatbázissal, előbbiek esetében az adatbázisban található információ adja meg a járművek számát, amely elégséges kétnapi maximális számú beszállítási feladat kielégítésére (így nem fordulhat elő az, hogy adott feladathoz nem áll rendelkezésre jármű a modellben, mivel egy nap elegendő minden járműnek a kiindulási pontra történő visszatéréshez). A felvett járművekhez sebességértékeket is felvettem, mivel a valós úthálózaton vett szimulációhoz ez is fontos paraméter. A városon belülről érkező szállítások esetén 25 km/h várható értékű (10 minimumú, 50 maximumú, 5 szórású) normális eloszlást, városon kívülről érkező szállítások esetén pedig 70 km/h várható értékű (50 minimumú, 110 maximumú, 5 km/h szórású) eloszlást vettem fel az alábbi módon (az „if”, azaz ha-függvény egyszerűsített változatát alkalmazva; az AnyLogic-ban írt kódok esetén az eredeti betűtípust és az eszköz által automatikusan használt színeket használom itt is):

```
(this.supplier1 == 1) ? normal(10, 50, 25, 5)
: normal(50, 110, 70, 5);
```

Következő lépésben megvalósítottam az idő kezelését, ehhez egy időkezelő folyamatot kellett felépíteni (ld. 5.4. ábra), amely diszkrét időközönként, minden órában

létrehoz egy objektumot, ezeket számolva pedig minden pillanatban rendelkezésünkre áll az aktuális idő, napban és órában kifejezve, ezt figyelembe véve pedig már kezelhetőek a további folyamatok. Az időkezelő folyamat valósítja meg a szimuláció megállítását is, esetünkben a 30. nap 24. órájának letelte után a szimuláció véget ér. Az időkezelő folyamat forrásának kijáratán alkalmazott kód az alábbi:

```
this.currentHour = ((int) self.count()+1)-this.currentDay*24;
this.currentDay = (((int) self.count()+1) / 24);
if ((int)self.count() == 30*24) {finishSimulation();};
```



5.4. ábra: Az időkezelési folyamat AnyLogic-ban

Ezt követően megkezdhettem a beszállítási folyamat modellezését. Ehhez létre kellett hozni egy megrendelés-generáló parancsot az üzletek populációján belül létrehozott, megrendeléseket generáló eseménynél (createorder esemény a későbbi 5.5. ábrán). Itt meg kellett adni egy havi igénykeletkezési gyakoriságot, itt pedig az AnyLogic beépített eloszlásait használva az Excel-alapú modelltől eltérve normális eloszlást alkalmaztam (várható értéke a havi beszállítások számának várható értéke, minimuma 0, maximuma a napi beszállítások maximális számának harmincszorosa, szórása pedig a havi beszállítások maximális számának fele). Az alkalmazott kód az alábbi:

```
normal(1, 30*dailyTransport, monthlyTransport, monthlyTransport/2)
```

A keletkező igényekhez ezen felül egy mennyiséget is meg kellett határozni, ezt a matematikai modellnek megfelelően hajtottam végre a különböző szállítási egységek számának és méretének megfelelően, az 5.5. ábrán látható kódot és paramétereket alkalmazva. Szintén az igények keletkezésekor kell ezeknek az igényeknek a beszállítóhoz történő átadását megvalósítani, ahol egy 0 időigényű virtuális feldolgozási folyamat után azok átadásra kerülnek a járműveknek, azaz megindul a beszállítási folyamat.

Miután a beszállítónál tartózkodó, a programkód által kiválasztott jármű megkapja a kiszállítandó árumennyiséget (azaz magát a megrendelést), a beszállítás folyamatát a valós úthálózaton modellezem. Ehhez tartozik egy, a beszállító járművek populációján belüli állapotábra (ld. 5.6. ábra), amelyben négy állapotot definiáltam:

várakozás a beszállítónál, utazás a koncentrált igényponti rámpához, kirakodás (illetve göngyöleg felrakodás) a beszállítói udvarban, majd visszatérés a beszállítóhoz. Ezen az állapotábrán tudjuk kezelni a beszállítási folyamat lépéseit.

createOrder - Event

Name: ☒ Show name ☐ Ignore

Visible: ☒ yes

Trigger type:

Rate:

☒ Log to database

Action

```
double box_weight;
double pal_weight;
double oth_weight;

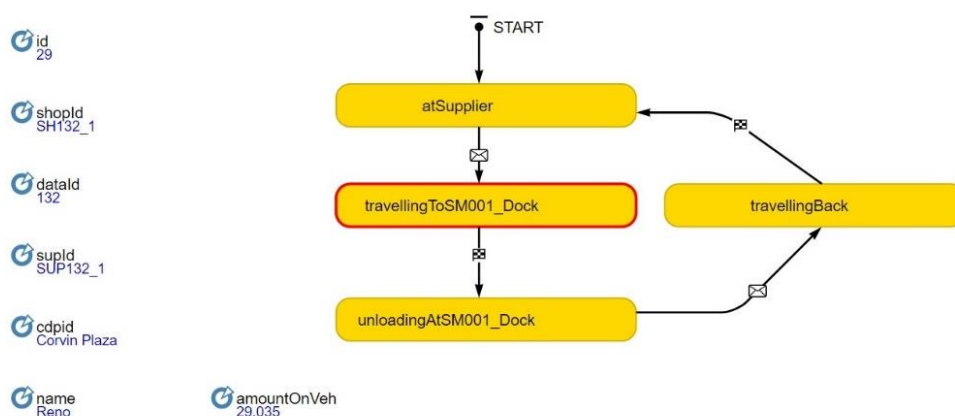
switch(boxW) {
  case 1: box_weight=uniform(0, 1); break;
  case 2: box_weight=uniform(1, 5); break;
  case 3: box_weight=uniform(5, 20); break;
  case 4: box_weight=uniform(0, 20); break;
  default: box_weight=0; break;
};

switch(palletW) {
  case 1: pal_weight=uniform(0, 100); break;
  case 2: pal_weight=uniform(100, 500); break;
  case 3: pal_weight=uniform(500, 1000); break;
  case 4: pal_weight=uniform(0, 1000); break;
  default: pal_weight=0; break;
};

Order createdOrder=
new Order(boxNo*box_weight+palletNo*pal_weight+
otherNo*uniform(0, 5));

main.sM001_Suppliers.get(id-1).orderArrived.take(createdOrder);
```

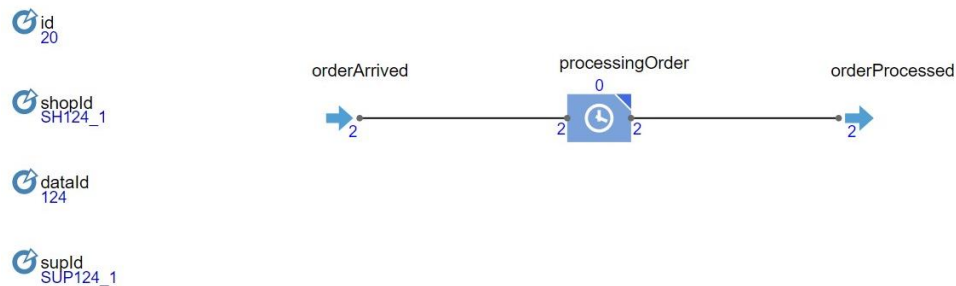
5.5. ábra: Az üzletek megrendeléseit generáló kód és paraméterek AnyLogic-ban



5.6. ábra: Beszállítási folyamat állapotábrája a járművek populációján belül

Az utazás a koncentrált igényponthoz állapotba a beérkező megrendelés feldolgozását követően kerül a jármű, majd a valós úthálózaton vett megérkezés után

átkerül a kirakodási állapotba, ekkor átadja a megrendelés tulajdonságait a beszállítói udvarnak. A megrendelés feldolgozásához szükség volt a beszállítókon belül felépíteni egy megrendelés-kezelési folyamatot, amely átveszi a megrendeléseket és feldolgozza, majd járműhöz rendeli. Ez az alábbi 5.7. ábrán látható.



5.7. ábra: Megrendelés-feldolgozási folyamat a beszállítók populációján belül

A megrendelés feldolgozását és járműhöz (a modellben Vehicle megnevezéssel) rendelését az alábbi kód adja meg:

```
SM001_Sup_Vehicle selectedVeh = getNearestAgent(
    filter(
        main.sM001_Sup_Vehicles, currentVeh ->
        currentVeh.inState(SM001_Sup_Vehicle.atSupplier)));
send(agent, selectedVeh);
```

A beszállítási folyamatban az előbbi kód alapján megkapott ágens megérkezése után az alábbi parancs adja át a mennyiséget a járműnek és küldi azt a bevásárlóközpontba (a modellben Dock megnevezéssel):

```
this.amountOnVeh = msg.orderamount;
moveTo(main.sM001_Dock);
```

A bevásárlóközponti beszállítói udvarba való megérkezéskor az alábbi parancs adja át az árumennyiséget rakodásra a beszállítási folyamaton belül:

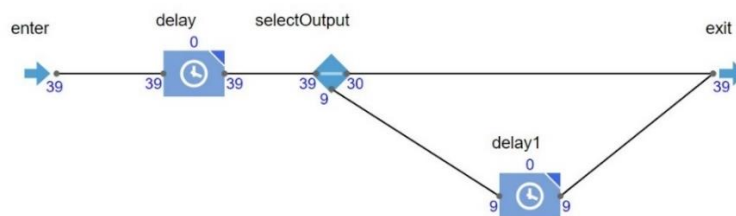
```
main.sM001_Dock.enter.take(this);
```

A beszállítói udvart reprezentáló ágensen belül létrehozásra került egy rakodási folyamat (tulajdonképpen egy késleltetés), amelyben a göngyölegkezelés szükségességétől függően két ágat kezelünk, egyikben csak lerakodás, másikban lerakodás és göngyöleg (esetünkben csak üres raklapok) felrakodása is megvalósul, ezeknek időigényét az adatbázisban található fajlagos időadatok (egy tranzakcióhoz tartozó rakodási idő) alapján határozza meg a modell a megrendeléshez tartozó ágens azonosítója alapján. A rakodási folyamatból történő kilépéskor üzenetet küldünk a beszállítási folyamatnak, ekkor a jármű átkerül a kiindulási helyre történő visszatérés

állapotába. Amennyiben tehát véget ér a rakodási folyamat, a járművek elhagyják a beszállítói udvart és a beszállítóhoz visszaérve pedig ismét alkalmas lesz beszállítási feladatok végrehajtására. A földrajzi koordinátákkal megadott kiindulási pontra történő visszatérést elindító kód AnyLogic-ban az alábbi:

```
moveTo(this.supLat, this.supLng);
```

A rakodási folyamat időbeli megvalósítását kezelő folyamat az 5.8. ábrán látható. A szimuláció futtatása során ennél a folyamatnál látható, hogy hány beszállítás érkezett az áruforgalmi zsilipbe, illetve azt, hogy hány esetben történt meg a lerakodás és a göngyöleg felrakodása.

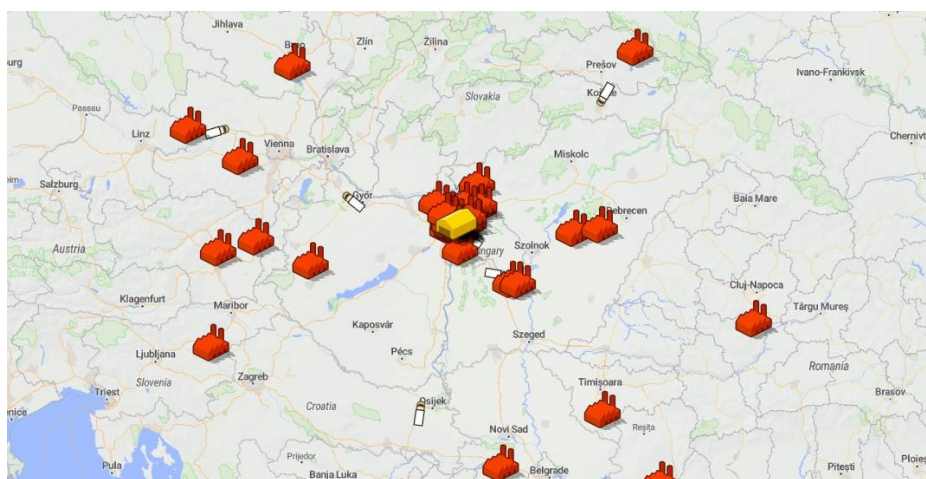


5.8. ábra: Lerakodási és göngyölegfelrakodási folyamat felépítése a beszállítói udvarban

Ebben az esetben a lerakodási, illetve a göngyölegfelrakodási idő az alábbi kóddal lett beállítva, az adatbázisban tárolt, előre meghatározott fajlagos időértékekből kiindulva:

```
(agent.amountOnVeh/500)*agent.smtime;  
agent.smtime*agent.palletNo;
```

Így tehát elkészült a jelenlegi rendszerben történő beszállítások és a göngyölegkezelés szimulációs modellje, amely ebben az állapotában már működőképes. Az 5.9. ábrán látható a modellben megvalósuló beszállítási folyamat egy részlete.



5.9. ábra: Működő beszállítási folyamatok a jelenlegi rendszer modelljében

Következő feladatunk a paraméterek adatbázisba történő mentése volt. Ehhez alapvetően elegendő lenne a különböző ágensek, illetve események és folyamatok esetén beállítani, hogy a modellezés során a rendszer az eredményeket logfájlokba mentse, ezeket pedig a szimuláció végeztével könnyedén exportálni lehet. A kapott adatbázisban minden, a szimulációs futtatás során keletkező paraméter szerepel, azonban a struktúráját nem lehet meghatározni, így azokból feldolgozható adatok kinyerése időigényes feladat. Emiatt úgy döntöttem, hogy egy külön adatbázistáblát hozok létre a feldolgozandó adatoknak, ebbe pedig a fontos értékeket a korábbi 5.6. ábrán látható beszállítási folyamatban, a rakodási részfolyamat megkezdésekor kiírunk egy SQL alapú parancs segítségével. A fontos paraméterek a beszállítási tranzakció azonosítója, a szállított árumennyiség, a kezelendő göngyölegmennyiség, a beszállítás során megtett út, az ehhez tartozó szállítási teljesítmény, az adott esetben használt jármű meghajtásának típusa (benzin vagy gázolaj), illetve a tranzakcióhoz tartozó fogyasztás és kibocsátási paraméterek. Fontos feladat volt a megtett út meghatározása, erre az alábbi parancs szolgált:

```
double distance = distanceTo(this.supLat, this.supLng);
```

Az adatbázis feltöltése során alkalmazott kód az alábbi:

```
String sql_code =
    "INSERT INTO results(result_id, day, hour, transaction_id,
    distance, goods_amount, empty_amount, del_performance,
    fuel_type, consumption, co, co2, hc, nox, pm) VALUES (" +
    (main.sM001_Dock.enter.out.count()+1) + ", " + main.currentDay +
    ", " + main.currentHour + ", " + this.id + ", " + distance + ",
    " + this.amountOnVeh + ", " + empties + ", " + del_perf + ", " +
    this.vehiclePower + ", " + fuel_cons + ", " + co_emission + ", "
    + co2_emission + ", " + hc_emission + ", " + nox_emission + ", "
    + pm_emission + ")";
executeStatement(sql_code);
```

Az adatok nyilvántartásához szükséges az adatbázist minden futtatás előtt kiüríteni, erre a fő ágensen belül a modell felépítésekor az alábbi parancs szolgál:

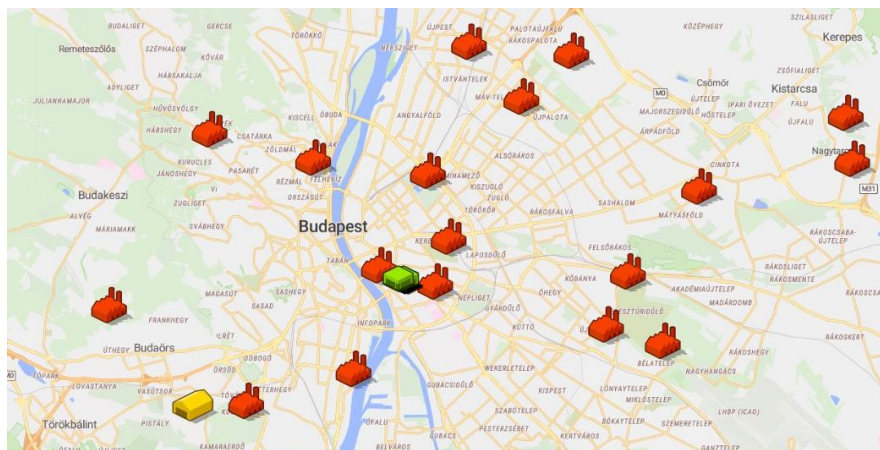
```
executeStatement("DELETE FROM results");
```

Ezzel teljes mértékben elkészült a jelenlegi rendszer beszállításainak modellje.

5.2.2. Az új rendszer modelljének felépítése

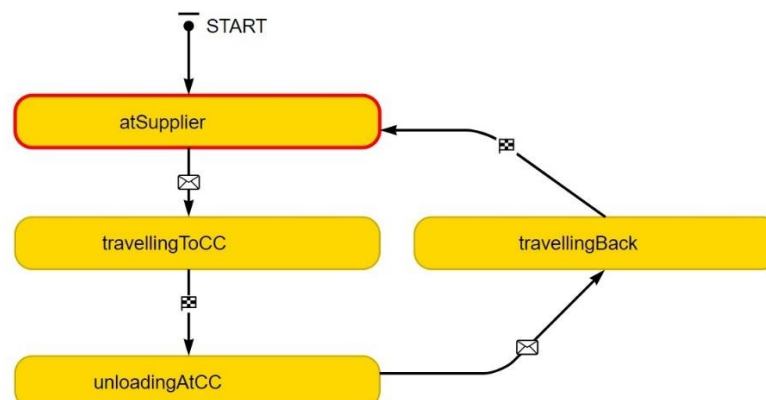
Az új rendszer modellje esetén a jelenlegi rendszer modelljéből indultam ki, a felhasznált adatbázis pedig azonos volt a korábbival, mivel minden szükséges

paramétert tartalmazott. Az új rendszer modellje két részre bontható: a beszállítók és a konszolidációs központ közötti folyamatokra, illetve a konszolidációs központ és a koncentrált igénypont-halmaz közötti folyamatokra. Elsőként a beszállítók és a központ közötti folyamatokat modelleztem le, ez tulajdonképpen megegyezik a jelenlegi rendszer modelljével, azzal a különbséggel, hogy a beszállítói udvar helyett a konszolidációs központba érkezik meg végül az áru, illetve néhány paramétert máshogy kell beállítani. A modellépítés első kiemelendő lépése a konszolidációs központ elhelyezése: a központot az Excel-alapú modellhez hasonlóan Budaörsön, Kamaraerdő közelében helyeztem el, annak megfelelő elhelyezkedése és közlekedési kapcsolatai miatt. Ez az alábbi 5.10. ábrán látható.



5.10. ábra: A konszolidációs központ elhelyezkedése az új rendszerben, AnyLogic-ban

A további folyamatok a jelenlegi rendszerhez hasonlóan épültek fel a beszállítók és a központ között. A beszállítási folyamat állapotábrája értelemszerűen új, a konszolidációs központhoz kapcsolódó állapotokkal lett ellátva, mint az az 5.11. ábrán látható is.



5.11. ábra: Beszállítási folyamat állapotábrája a beszállítók és a konszolidációs központ között az új rendszerben

Néhány parancs változott a jelenlegi rendszerhez képest, mivel azokban a konszolidációs központra kell hivatkozni a beszállítói udvar helyett. A beszállítási folyamaton belül a megrendelt mennyiség átadása a járműnek és a jármű központba küldése így az alábbi lett:

```
this.amountOnVeh = msg.orderamount;  
moveTo(main.CC001);
```

A megérkezéskor a konszolidációs központnak (a modellben CC) történő átadás az alábbi szerint alakul:

```
main.CC001.enter.take(this);
```

Ezek voltak a változtatásra kerülő modellrészletek. Következő feladat a beszállítás generálás átalakítása volt, mivel a konszolidációs központ készletezési feladatokat is átvállal, így egyszerre nagyobb mennyiségek is beszállíthatók, emiatt pedig a beszállítás-generátort is át kellett alakítani. A beszállítások napi számát így nem a beszállítások havi maximális számából határoztam meg, hanem az abból meghatározott havi összevont beszállítási tranzakciók számából (ennyiszor kell a beszállítóknak a készletezési feladatokat átvevő konszolidációs központba szállítani egy hónapban, ez lett a várható érték, a maximum pedig a beszállítások korábbi havi száma, vagy amennyiben az havi 30-nál több, akkor 30) az alábbi módon:

```
normal(1, min(30,monthlyTransport),  
suptransportDays, suptransportDays/2)
```

Ebből adódóan az egy szállításhoz generált árumennyiség is megváltozik, figyelembe kell venni, hogy egy összevont beszállításban hány egyszerű beszállítási tranzakció került összevonásra. Az árumennyiség generálásának megváltozó része és a rendelés átadásának kódja így az alábbi (ahol 0,6 egy tapasztalati úton beállított korrekciós tényező, amelynek célja az, hogy a máshogy paraméterezett véletlengenerátorok a végén hasonló beszállított árumennyiséget eredményezzenek):

```
double n=0.6*(monthlyTransport/suptransportDays);  
Order createdOrder=new Order(n*(boxNo*box_weight+palLetNo*pal_weight+  
otherNo*uniform(0, 5)));  
main.sM001_Suppliers.get(id-1).orderArrived.take(createdOrder);
```

Az anyagmozgatási időket is változtatnom kellett, mivel a koncentrált igénypont-halmazhoz, illetve a konszolidációs központhoz más fajlagos időértékek tartoznak, így a lerakodási, illetve göngyölegfelrakodási időszükséglet az alábbi lett a konszolidációs központ input oldalán:

```
(agent.amountOnVeh/500)*agent.ccarrivalTime;  
agent.ccdepartureTime*agent.palLetNo;
```

Így felépült a teljes, beszállító és a konszolidációs központ közötti folyamat, ezt követte a központ és a koncentrált igénypont-halmaz áruforgalmi zsilip közötti konszolidált beszállítási folyamatok modellje. Ehhez elsőként létrehoztam az áruforgalmi zsilipet ugyanabba a pozícióba, mint a jelenlegi rendszer esetén a beszállítói udvar pozíciója. Emellett létrehoztam a szakaszon használt tehergépkocsik populációját (10 járművel, ennyi jármű mindenképpen elegendő lesz a feladatok lebonyolításához), ezek alapértelmezett pozíciója a konszolidációs központ lett, sebességük várható értéke pedig 25 km/h (minimum 10, maximum 50, szórás 5 normális eloszlás szerint) az alábbi módon:

```
normal(10, 50, 25, 5);
```

Következő feladat a konszolidációs központ készletének kezelése volt, az ehhez tartozó paramétereket az üzletek populációján belül hoztam létre, mivel hozzájuk tartoznak a készletek a központban. Ezekhez be kellett állítani egy nyitókészletet is, ehhez három paramétert kellett definiálni: a várható napi beérkező árumennyiséget (ennek számítása az előbbieken bemutatotthoz hasonlóan történik, ugyanazon értékekkel és eloszlásokkal dolgozva, a modell felépítésekor), a biztonsági készlet számítása során alkalmazott biztonsági tényezőt (normális eloszlás szerint számolva, 95%-os megbízhatósággal, a modellben SafetyFactor néven), valamint a készleten lévő árumennyiséget. Utóbbi nyitó készletértéke az alábbi (dailyAmount jelöli ekkor az egy nap alatt várhatóan kiszállítandó árumennyiséget):

```
stockSafetyFactor*sqrt(dailyAmount)+3*dailyAmount
```

A beérkező áruk készletre vétele a beszállítási állapotábrában történik, a koncentrált igénypont-halmazra történő megérkezéskor. Ekkor az alábbi kód kikeresi azt, hogy azonosító alapján az adott összevont beszállítási tranzakció melyik üzlethez (a modellben Shop jelöléssel) tartozik és a beszállított mennyiséget hozzáadja a készletértékhez (a modellben amountOnCCStock jelöléssel):

```
SM001_Shop destination = findFirst(main.SM001_Shops,  
    currentShop -> (currentShop.id == this.id));  
destination.amountOnCCStock =  
    destination.amountOnCCStock+this.amountOnVeh;
```

Következő lépésként létrehoztam azt az eseményt az üzletek populációján belül, amely legenerálja az üzletek megrendeléseit, amelyeket a konszolidációs központból kell kiszállítani. Ehhez létre kellett hozni egy másik megrendeléstípust, ezek fognak a rendszerben áramlani az igénypontok és a konszolidációs központ között. Az esemény többi része az eddigiekhez hasonlóan épül fel. Az esemény lefutásának gyakorisága

(azaz a megrendelések gyakorisága az alábbi (normális eloszlás szerint minimum 1, maximum a havi megrendelések száma, vagy 30, amennyiben napi több megrendelés is jellemző a jelenlegi rendszerben, a várható érték a beszállítási napok száma, a szórás pedig a fele):

```
normal(1, min(30,monthlyTransport),  
        cctransportDays, cctransportDays/2)
```

A megrendelésekhez tartozó mennyiség (és az ahhoz tartozó kezelendő göngyöleg tömeg) generálása és a konszolidációs központnak történő átadás is az előbbiekhöz hasonlóan történik, annyi különbséggel, hogy figyelembe vesszük a korábbi ki nem elégített megrendeléseket (a modellben *orderBackLog* jelöléssel) és a rendelkezésre álló készletet is, így csak annyit szállít ki, amennyit a készlet enged, a maradékot pedig eltárolja kielégítetlen igényként. Ezt követően rögzíti a változásokat a készletben. A kód megváltozott részletei az alábbiak (0,85 egy az előbbihez hasonlóan tapasztalati úton beállított korrekciós tényező):

```
double n=0.85*monthlyTransport/cctransportDays;  
double amount=n*(boxNo*box_weight+palletNo*pal_weight+  
    otherNo*uniform(0, 5))+orderBackLog;  
double empties=palletNo*15;  
double amountToOrder=min(amount,amountOnCCStock);  
amountOnCCStock = amountOnCCStock - amountToOrder;  
orderBackLog = amount - amountToOrder;  
OrderCC createdCCOrder=new OrderCC(amountToOrder,empties);  
main.CC001.CCOrderArrived.take(createdCCOrder);
```

Mivel a készlet kezelése teljes mértékben megtörtént az előbbi kódok alkalmazásával, így létre tudtam hozni készletdiagramokat is az üzletek populációján belül, azokon 2 értéket, a rendelkezésre álló készletet, illetve az aktuális kielégítetlen igényeket feltüntetve. A diagramra óránként kerülnek fel az aktuális értékek és így a kapott eredmények minden üzletre külön megtekinthetők. Egy ilyen készletdiagram az 5.12. ábrán látható.



5.12. ábra: Készletdiagram tetszőleges üzletre az AnyLogic-modellben

Következő lépésben létrehozásra került a konszolidációs központ megrendelés-feldolgozási folyamata, amely megegyezik a beszállítóknál már a jelenlegi rendszer esetén bemutatott feldolgozási folyamattal. A folyamat az 5.13. ábrán látható.



5.13. ábra: A konszolidációs központ megrendelés-feldolgozási folyamata

Itt megjelenik egy felrakodási idő is, amelyet a középső elem, egy készletetés reprezentál az alábbi rakodási idővel számolva (állandó, 5 perces ciklusidőket véve):

$$(agent.orderCCamount/500)*5$$

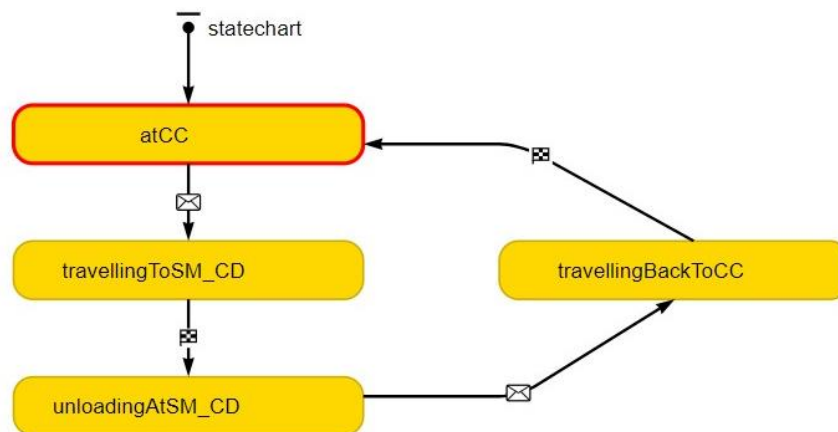
A folyamat az alábbi kóddal adja át a megrendeléseket (valamint a hozzájuk tartozó kezelendő göngyölegmennyiséget) a konszolidációs központban várakozó kiválasztott járműnek (a modellben CC_Vehicle jelöléssel):

```
CC_Vehicle selectedVeh = getNearestAgent(filter(
    main.CC_Vehicles, currentVeh ->
    currentVeh.inState(CC_Vehicle.atCC)));
send(agent, selectedVeh);
selectedVeh.amountonCCVehicle =
    selectedVeh.amountonCCVehicle + agent.orderCCamount;
selectedVeh.emptyiesonCCVehicle =
    selectedVeh.emptyiesonCCVehicle + agent.orderCCempties;
```

A megrendeléseket ekkor a járművön gyűjtjük, és a beszállítási folyamat akkor indulhat csak el, ha a járműre már nem fér több rakomány (modellszerűen 7,5 tonnás kapacitású járművekkel dolgozva, amelyek jelenleg abban az esetben tekinthetők megrakottnak, ha a rakomány össztömege több, mint 5 tonna). A kiszállítás tehát az alábbi feltétel alapján indul el:

`this.amountonCCVehicle > 5000`

A beszállítási folyamat a korábbiakhoz hasonló állapotokkal rendelkezik: várakozás a konszolidációs központban, kiszállítás az áruforgalmi zsilipbe, rakodás a zsilipben és visszatérés a központba, az alábbi 5.14. ábrán látható módon.



5.14. ábra: Beszállítási folyamat állapotábrája a konszolidációs központ és az áruforgalmi zsilip között

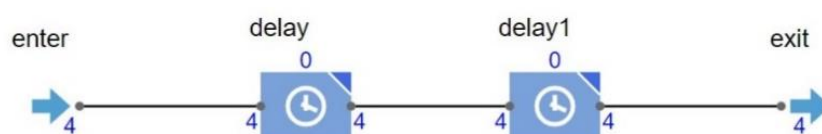
A kiszállítás indulásakor az előbbi feltétel teljesülése esetén az alábbi parancs küldi a járművet az áruforgalmi zsilipbe:

`moveTo(main.SM001_CrossDock);`

Megérkezésakor átadjuk az ágenst az áruforgalmi zsilipnek (a modellben CrossDock jelöléssel) az alábbi paranccsal:

`main.SM001_CrossDock.enter.take(this);`

Az áruforgalmi zsilipben ekkor megvalósul a lerakodási, illetve göngyölegfelrakodási folyamat. A rakodás két fő részét egy-egy késleltetés reprezentálja az 5.15. ábrán látható módon.



5.15. ábra: Lerakodási folyamat az áruforgalmi zsilipben

Ekkor a lerakodás, illetve a göngyölegfelrakodás időszükséglete az alábbi, állandó ciklusidőkkel számolva:

$$(agent.amountonCCVehicle/500)*5$$
$$(agent.emptiesonCCVehicle/500)*2$$

A rakodás befejezésekor a jármű az alábbi üzenetet kapja:

```
send("LoadingReady", agent)
```

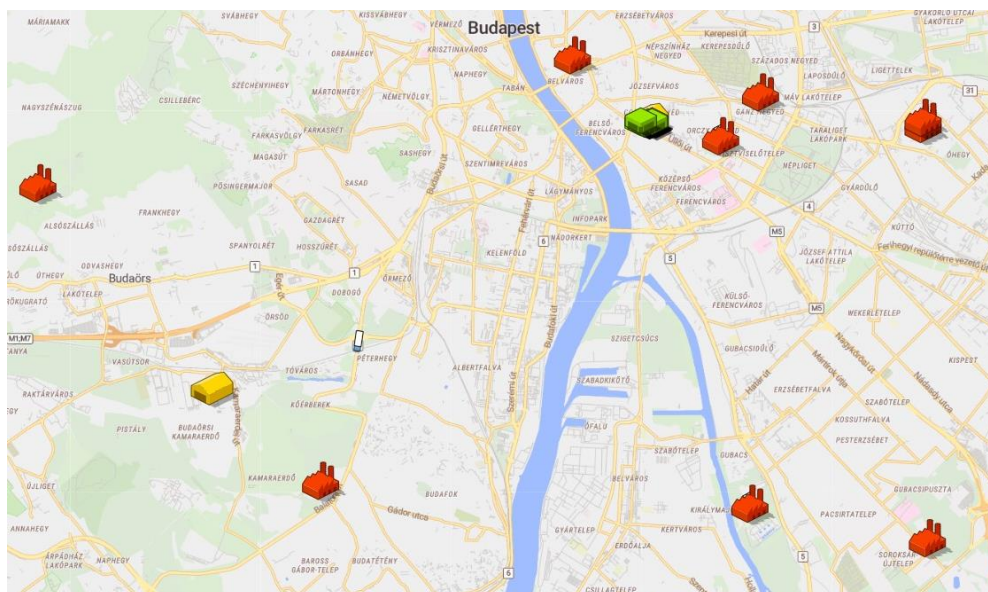
Az üzenet beérkezésének hatására a beszállítási folyamatban az alábbi kód fut le, visszaküldve a járművet a konszolidációs központba és kiürítve a járműhöz tartozó mennyiség-értékeket, így azok ismét feltölthetővé válnak:

```
moveTo(main.CC001);
```

```
this.amountonCCVehicle=0;
```

```
this.emptiesonCCVehicle=0;
```

Így elkészült az új rendszer beszállítási rendszerének teljes modellje, amely az alábbi 5.16. ábrán látható módon működőképes.



5.16. ábra: A zsiliből a konszolidációs központba visszatérő szállítás az új rendszer szimulációs modelljében

Utolsó feladat a modellépítés során a konszolidált beszállítással kapcsolatos eredmények adatbázisba mentése volt, ez pedig szintén a rakodási folyamat megkezdésekor történt, a jelenlegi rendszer esetén alkalmazott SQL-alapú kód testre szabásával. Így a modellbe bekerült minden tervezett funkció. A következő pontban összefoglalom a modellezés során felmerülő problémákat, amelyeket le kellett küzdenem a különböző modellkomponensek tesztelésekor.

5.2.3. A modell tesztelése során előforduló problémák

A modellépítés különböző fázisaiban a tesztelés során számos problémába futottam, így az ezekhez tartozó hibaüzenetek alapján tudtam a modellt, illetve a kapcsolódó adatbázis adatait javítani. Több különböző hiba eredt a modellépítés során az adatbázisban található nem megfelelő formátumú adatokból. A legtöbb problémába hibás indexelésből adódóan futottam, ez pedig abból eredt, hogy az AnyLogic 0-tól kezdődően számozza az ágenseket, ez pedig hibához vezet például abban az esetben, ha az 50 ágensből álló populáció 50. tagját az 50-es azonosítóval próbálom hivatkozni a 49-es helyett. Egy ilyen jellegű hibaüzenetre mutat példát az 5.17. ábra.



5.17. ábra: Hibaüzenet AnyLogic-ban hibás indexelés miatt

További hibákat okozott az, hogy a hibásan megírt kódrészletek miatt nem a megfelelő helyre próbálta a modell átadni az ágenseket, így a modell nem tudott lefutni, mivel null-értékű célhoz próbált eljuttatni objektumokat. Természetesen okoztak problémákat a rosszul beállított paraméterek is, ezek a hibák jól mutatták, hogy a modell még nem megfelelően képezi le a valós rendszert. Szintén többször előfordult, hogy a nem megfelelően megírt SQL-lekérdezések okoztak hibát az adatbázisba írás közben. Ezekből is látszik, hogy a használt szimulációs eszköz nagyon komplex, ami egyfelől lehetővé tette, hogy megfelelően felépítsem benne a szimulációs modellt, azonban sokkal nagyobb kihívás volt a modellépítés ebben az eszközben. Míg a korábbiakban az MS Excel alkalmazása során minden folyamatot le lehetett képezni cellaképletekkel, itt szükséges volt különböző folyamatábrákat létrehozni, JAVA alapú kódokat írni, illetve SQL-alapú lekérdezéseket is integrálni a számos beállítandó paraméter és a különböző ágensek kezelése mellett.

A következő pontokban bemutatom először az AnyLogic-ban kapott eredményeket (ezek 1 bevásárlóközpont beszállítási folyamataira vonatkoznak), majd pedig az MS Excel alapú modell használatával kapott eredményeket (ezek pedig 3 bevásárlóközpont teljes logisztikai rendszerére és költségeire is vonatkoznak).

5.3. A kapott eredmények elemzése

A kapott adatok elemzése során először az AnyLogic-ban a pilot rendszerre felépített szimulációs modell használatával kapott eredményeket mutatom be, utána következik a MS Excellel 178 üzlet folyamatai vizsgálva végzett kísérletek eredményeinek bemutatása.

5.3.1. Eredmények az AnyLogic szimulációs eszköz alkalmazásával

Elsőként az előbbieken bemutatott, AnyLogic-ban kidolgozott modell használatával kapott eredményeket fogom bemutatni. Ez a kutatásunk modellezési fázisának legújabb eredménye, a korábbiakban kidolgozott matematikai modell alapján teljes mértékben most került felépítésre ez a szimulációs modell. A szimulációs futtatásokhoz 40 üzlet adatait használtam fel 1 bevásárlóközpontból, a modellt pilot jelleggel építettem fel ezekre az objektumokra. Mivel ez csak egy pilot jellegű, kevesebb üzlet folyamatait tartalmazó modell, ezért az eredményeket sem értékelem olyan részletesen, inkább a MS Excel használatával elvégzett részletesebb eredményeket fogom részletezni. Az AnyLogic használatával kapott részletes eredmények a 4. mellékletben láthatók.

A modellt a tömegadatok alapján validáltam. A szimulációs futtatások során kapott tömegadatok várható értékei az 5.5. táblázatban láthatók. A szórásokat is érdemes lenne itt összehasonlítani: a jelenlegi rendszerben az árutömeg szórása 0,69 kg, a göngyöleg-tömegé 0,22, az új rendszerben az összevont és konszolidált szállítások más jellegű, kevésbé szóródó generálása miatt ezek 0 körüli értékre csökkennek, minden esetben 0,1 vagy kisebb szórás értékeket kaptam. Ez ugyan százalékosan jelentősebb eltérés lenne, azonban nagyságrendileg nem releváns ez az eltérés, amely a különböző jellegű szállításokat kezelő generátorok különbözőségéből ered.

5.5. táblázat: Kezelt mennyiségek és várható értékük az AnyLogic alapú modell esetén

	Árutömeg [kg]	Eltérés a jelenlegitől	Göngyöleg- tömeg [t]	Eltérés a jelenlegitől
Jelenlegi rendszer	130,1	-	5,2	-
Új rendszer (Beszállítók-CC)	134,9	3,8%	2,9	-44,4%
Új rendszer (CC- igényponthalmaz)	128,1	-1,5%	5,2	0,9%
Új rendszer (átlagosan)	131,5	1,1%	4,0	-21,7%

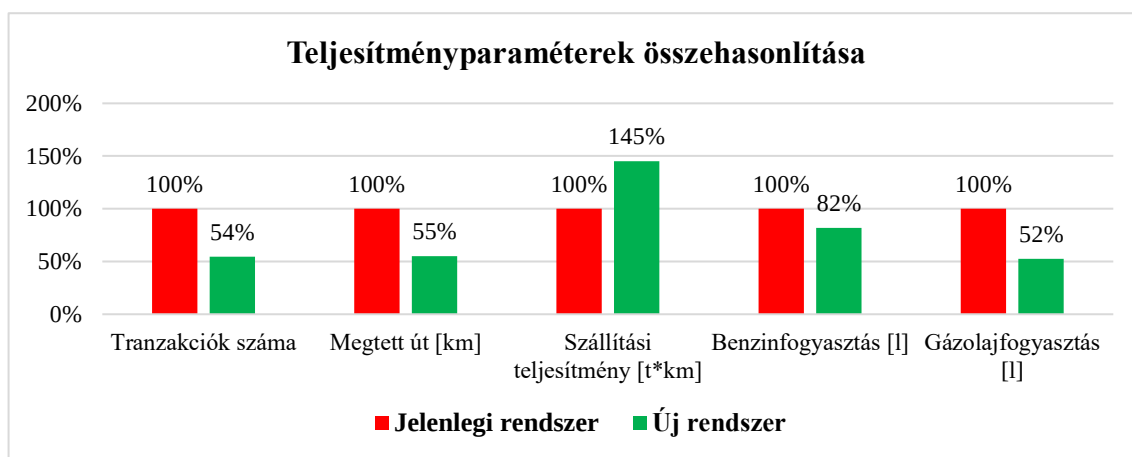
A kezelt árumennyiségek esetén látható, hogy elhanyagolhatók az eltérések, a generált árumennyiségek megfelelnek egymásnak a különböző rendszerekben, illetve ehhez hasonlóan megfelelnek a valós adatok szerinti mennyiségeknek is, így a kezelt mennyiségekből kiindulva jól összehasonlítható a két rendszer. A göngyölegek esetén nagyobb eltérésről van szó, azonban ezt a göngyölegkezelés sporadicitásával magyarázhatjuk, mivel itt még egy kisebb mintáról van szó, így a véletlengenerált mennyiségek közti eltérés is nagyobb lett. Mindkét rendszer esetén 10-10 kísérletet végeztem el, ezekre határoztam meg a várható értékeket. A kísérletek alapján kapott fizikai paraméterek várható értékei az 5.6. táblázatban láthatók. Láthatjuk, hogy a korábban feltételezett módon jelentős teljesítménycsökkenéseket kapunk az új rendszer esetén, a vizsgált 40 üzlet esetén közel 40.000 km-rel kevesebb utat kell így megtennünk, ez pedig további jelentős fogyasztás és kibocsátás csökkenéssel jár.

5.6. táblázat: Az AnyLogic-ban végzett szimulációs futtatások során kapott eredmények

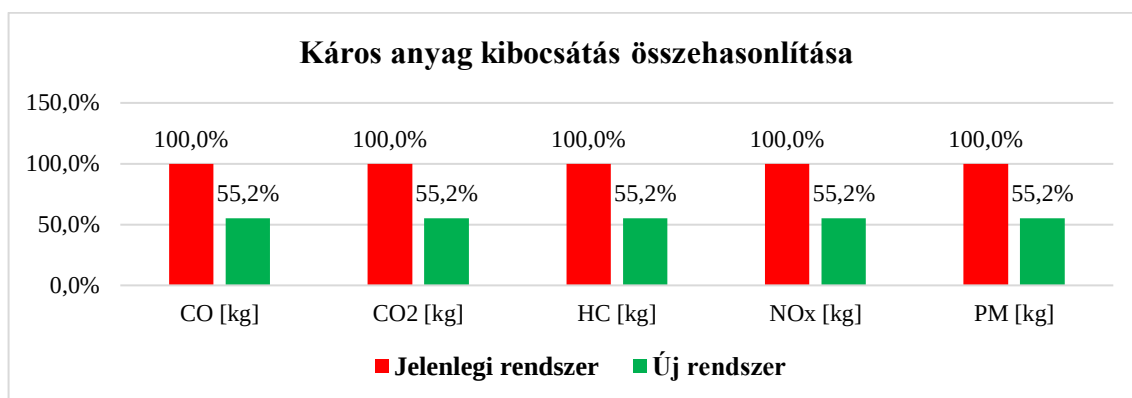
	Jelenlegi rendszer	Új rendszer
Tranzakciók száma	349,6	285,9
Megtett út [km]	5683,7	2974,1
Árumennyiség [kg]	71,3	39,3
Göngyölegmennyiség [t]	15641,7	8630,4
Szállítási teljesítmény [t*km]	4,8	2,6
Benzinfogyasztás [l]	32,6	18,0
Gázolajfogyasztás [l]	3,3	1,8
CO kibocsátás [kg]	0,71	0,39
CO₂ kibocsátás [kg]	156,42	86,30
HC kibocsátás [kg]	0,05	0,03
NO_x kibocsátás [kg]	0,33	0,18
PM kibocsátás [kg]	0,03	0,02

Az alábbi 5.18. ábra mutatja, hogy mekkora mértékben változnak a teljesítményparaméterek. Ez az ábra jól mutatja, hogy mekkora megtakarítási lehetőségek vannak ebben az új rendszerben, 45%-kal is csökkenthető lenne ebben az esetben a megtett út. A teljesítményparaméterek csökkenéséből adódóan ekkor a kibocsátások is nagy mértékben csökkennek, mint az az 5.19. ábrán látható is.

Kiemelendő, hogy a változások nagyságrendje megegyezik a korábban felépített MS Excel-alapú modellben kapott eredményekkel, ezeket fogom bemutatni a következő fejezetben. Ez alapján kijelenthetem, hogy a két különböző eszközben épített modell ugyanazokat a folyamatokat írja le.



5.18. ábra: A teljesítményparaméterek változása az AnyLogic-ban végzett szimulációs futtatások alapján



5.19. ábra: Káros anyag kibocsátás változása az AnyLogic-ban végzett szimulációs futtatások alapján

5.3.2. Eredmények MS Excel alkalmazásával

A pilot rendszerre vonatkozó eredmények után bemutatom a korábbiakban a MS Excel alkalmazásával elkészített szimulációs modellben végzett futtatások eredményeit is, amelyeket szintén a modell validációja és verifikációja, illetve kísérlettervezés után kaptam. Mind a jelenlegi, mind pedig az új rendszer esetén (a tehergépkocsit és a városi közúti vasutat alkalmazó megoldásra is) 100 kísérletet végeztem és annak eredményeit értékeltem. Fontos kiemelni, hogy minden kísérlet véletlen és egymástól teljes mértékben független, így a kapott minta független és véletlen egyaránt (hasonlóan az előbbi eredményekhez). Az így kapott eredmények 3 bevásárlóközpont 178 üzletére vonatkoznak, valamint a teljes folyamatot leírják, a beszállítások mellett a házhozszállításokat is, így pedig már érdemes a költségekkel kapcsolatos eredményeket is részletesen elemezni.

5.3.2.1. Fizikai paraméterek vizsgálata

Elsőként a fizikai paramétereket vizsgálom meg: a tranzakciók számát, a menetteljesítményt, szállítási teljesítményt, üzemanyag-fogyasztási, valamint káros anyag kibocsátási paramétereket. A jelenlegi rendszerre (egy hónapra) vonatkozólag az 5.7. táblázat tartalmazza a beszállítások jellemzőit, az 5.8. táblázatban pedig a házhozszállításokra vonatkozó adatok láthatók. A göngyölegkezelésre és üresjáratokra vonatkozó adatok hasonlóak a beszállítási adatokhoz, ezért azok részletesen az 5. mellékletben láthatók.

5.7. táblázat: A beszállítási tranzakciók havi jellemzői a jelenlegi rendszerben, az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján

<i>Beszállítások a jelenlegi rendszerben</i>	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás
Összes tömeg [t]	1275,7	1427,1	1346,1	31,8
Beszállítási tranzakciók száma	3360,0	3451,0	3396,7	16,5
Szállítási teljesítmény (városon belül) [t*km]	21523,8	24936,4	23206,2	797,4
Szállítási teljesítmény (városon kívül) [t*km]	66929,0	173921,6	123763,0	26613,0
Menetteljesítmény (városon belül) [km]	49476,0	54161,0	51284,8	999,7
Menetteljesítmény (városon kívül) [km]	196678,0	297437,0	240739,8	19738,2
Benzin-fogyasztás [l]	622,0	1369,7	923,7	158,4
Gázolaj-fogyasztás [l]	14795,6	21238,6	17541,7	1284,7
CO kibocsátás [kg]	13,6	18,8	15,9	1,1
CO ₂ kibocsátás [kg]	2794,5	3936,3	3279,4	231,3
HC kibocsátás [kg]	0,9	1,3	1,1	0,1
NO _x kibocsátás [kg]	5,7	8,1	6,7	0,5
PM kibocsátás [kg]	0,6	0,9	0,7	0,0

5.8. táblázat: A házhozszállítási tranzakciók jellemzői a jelenlegi rendszerben, az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján

<i>Házhozszállítás a jelenlegi rendszerben</i>	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás
Összes tömeg [t]	46,1	61,9	54,1	2,3
Házhozszállítási tranzakciók száma	3952,0	4250,0	4097,0	72,8
Menetteljesítmény [km]	44012,8	60262,0	51335,9	3195,8
Benzin-fogyasztás [l]	836,7	1739,7	1284,8	184,7
Gázolaj-fogyasztás [l]	1734,6	2637,7	2169,8	150,3
CO kibocsátás [kg]	2,8	5,0	3,9	-
CO ₂ kibocsátás [kg]	422,7	704,4	560,2	-
HC kibocsátás [kg]	0,2	0,4	0,3	-
NO _x kibocsátás [kg]	0,7	1,2	1,0	-
PM kibocsátás [kg]	0,1	0,2	0,2	-

Látható, hogy a jelenlegi rendszerben egy hónap alatt (178 üzletet kiszolgálva) várhatóan 1346,1 tonna árut szállítunk be, ami további 44,8 tonna göngyöleg kezelését generálja, valamint havonta várhatóan 54,1 tonna árut szállítunk házhoz a bevásárlóközpontokból. Ezzel összesen több, mint 635.000 km utat kell megtenni a feladatok során, ami összesen több, mint 3100 liter benzin, illetve több, mint 37.200 liter gázolaj elégetését jelenti, ami pl. több, mint 7 tonna CO₂ kibocsátással jár.

Ezzel szembeállítható az általunk vizsgált, a korábbiakban részletesen is bemutatott új rendszer, melyben konszolidációs központot (CC) helyezünk el a beszállítók és a bevásárlóközpontok közé, a beszállítói udvarokat pedig áruforgalmi zsilipekkel helyettesítjük. Az egyik új megoldásban ekkor a konszolidációs központ és a zsilipek között tehergépkocsikkal szállítunk, a másik esetén pedig közúti vasút, azaz villamos használatával. Az 5.9. táblázatban láthatók a beszállítási paraméterek a beszállítók és a konszolidációs központ között, az 5.10. táblázatban pedig a központ és az igénypontok között. Az 5.11. táblázatban a házhozszállítási tranzakciók paraméterei láthatók, a göngyölegkezelésre vonatkozó adatok pedig az 5. mellékletben találhatók.

5.9. táblázat: Beszállítások jellemzői az új rendszerben a beszállítók és a CC között, az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján

<i>Beszállítások (Beszállítók-CC)</i>	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás
Összes tömeg [t]	1173,4	1611,0	1356,2	77,0
Beszállítási tranzakciók száma	1305,0	1380,0	1338,9	16,7
Szállítási teljesítmény [t*km]	85813,4	215386,2	151734,0	29329,5
Menetteljesítmény [km]	115156,0	145263,0	130213,1	6285,0
Benzin-fogyasztás [l]	513,8	1246,5	864,6	135,7
Gázolaj-fogyasztás [l]	6558,6	8275,4	7368,0	376,0
CO kibocsátás [kg]	6,4	8,4	7,5	0,4
CO₂ kibocsátás [kg]	1285,0	1614,7	1440,4	69,3
HC kibocsátás [kg]	0,4	0,6	0,5	0,0
NO_x kibocsátás [kg]	2,6	3,2	2,9	0,1
PM kibocsátás [kg]	0,3	0,4	0,3	0,0

5.10. táblázat: Beszállítások jellemzői az új rendszerben a CC és a koncentrált igénypont-halmazok között, az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján

<i>Beszállítások (CC-Koncentrált igénypontok)</i>	Min	Max	Átlag	Szórás
Összes tömeg [t]	1241,2	1435,2	1338,1	41,5
Tehergépkocsis beszállítási tranzakciók	255,0	283,0	268,7	6,0
Közúti vasúti beszállítási tranzakciók	115,0	130,0	123,1	3,0
Szállítási teljesítmény (városon belül, tehergépkocsik esetén) [t*km]	13253,1	15297,6	14333,6	432,3
Szállítási teljesítmény (városon belül, közúti vasút esetén) [t*km]	19507,0	22957,4	21461,6	675,3
Menetteljesítmény (városon belül, tehergépkocsik esetén) [km]	2788,4	3108,9	2940,1	69,5
Menetteljesítmény (városon belül, közúti vasút esetén) [km]	1831,5	2061,0	1949,4	44,6
Benzin-fogyasztás [l]	0,0	0,0	0,0	
Gázolaj-fogyasztás [l]	211,9	236,3	223,5	5,3
Áramfogyasztás [kWh]	7802,8	9182,9	8584,6	270,1
CO kibocsátás (tehergépkocsik esetén) [kg]	0,3	0,4	0,4	0,0
CO₂ kibocsátás (tehergépkocsik esetén) [kg]	76,1	84,8	80,2	1,9
HC kibocsátás (tehergépkocsik esetén) [kg]	0,0	0,0	0,0	0,0
NO_x kibocsátás (tehergépkocsik esetén) [kg]	0,2	0,2	0,2	0,0
PM kibocsátás (tehergépkocsik esetén) [kg]	0,0	0,0	0,0	0,0

5.11. táblázat: Házhozszállítások jellemzői az új rendszerben, az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján

<i>Házhozszállítások</i>	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás
Összes tömeg [t]	39,1	57,6	49,8	3,7
Házhozszállítási tranzakciók száma	872,0	1120,0	991,3	46,7
Menetteljesítmény [km]	45714,8	55340,2	49802,6	2056,9
Benzin-fogyasztás [l]	0,0	0,0	0,0	-
Gázolaj-fogyasztás [l]	2102,9	2545,6	2290,9	94,6
CO kibocsátás [kg]	1,7	2,1	1,9	-
CO₂ kibocsátás [kg]	378,5	458,2	412,4	-
HC kibocsátás [kg]	0,1	0,1	0,1	-
NO_x kibocsátás [kg]	0,8	1,0	0,9	-
PM kibocsátás [kg]	0,1	0,1	0,1	-

Látható, hogy az új rendszerben a modellezett árumennyiség 1356,2 tonna a beszállítók és a konszolidációs központ között, illetve 1338,1 tonna a központ és a bevásárlóközpontok között, az eltérés +0,7%, illetve -0,6% a jelenlegi rendszerhez képest, ennek oka pedig az, hogy a modellekben a generátorok kis mértékben eltérnek (órás, illetve napi bontás miatt), illetve a kísérletek egymástól függetlenek voltak. Göngyölegek esetén ekkor 43,9 tonna, illetve 47,4 tonna a kezelendő mennyiség a két

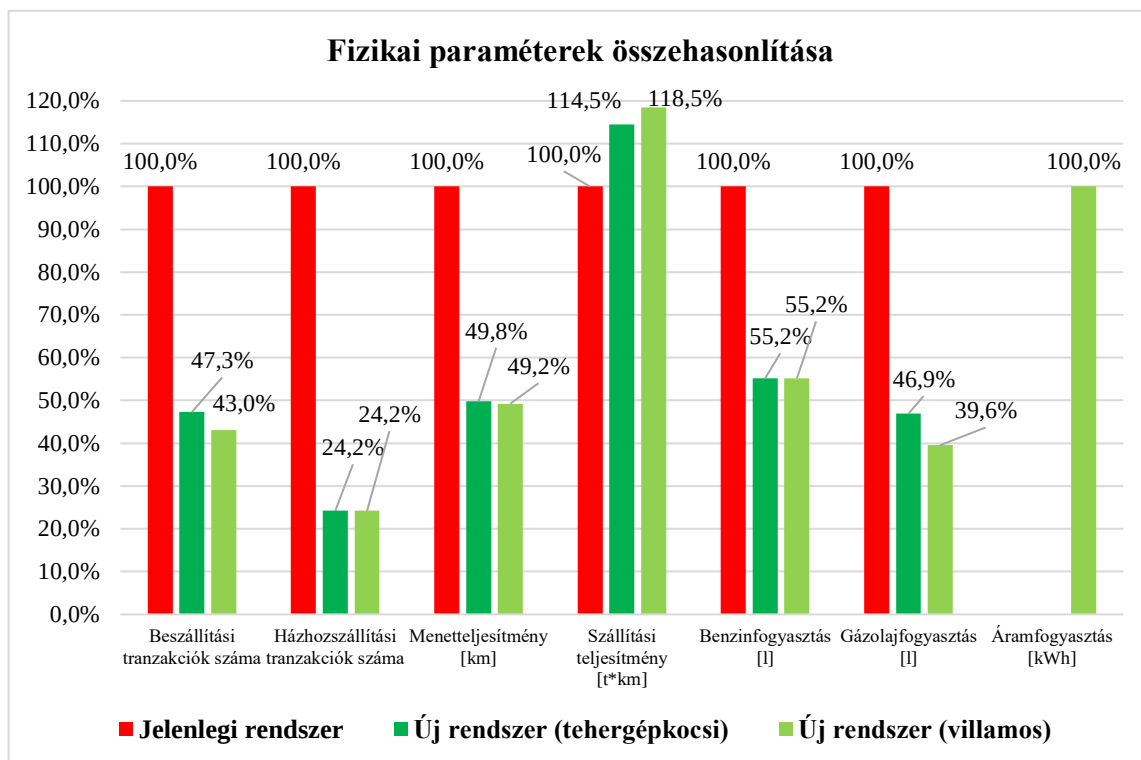
szakaszon, ez -2,1%, illetve +5,7% eltérés a jelenlegi rendszerhez képest, a nagyobb eltérést pedig az indokolja, hogy a kezelendő göngyölegek megjelenése ritkább, így a szórás is nagyobb. A házhoz szállítandó árumennyiség az új rendszerben 49,8 tonna havonta, ez a jelenlegi rendszerben modellezett mennyiséghez -8% eltérést mutat az előbbihez hasonló okok miatt. Azt azonban kijelenthetem, hogy az AnyLogic alapú modellhez hasonlóan, a tömegek alapján jól összehasonlítható a két rendszer, mivel a modellezett mennyiségek kis eltérést mutatnak, csak a ritkább folyamatoknál megy 5% fölé az eltérés.

Ezekhez a mennyiségekhez az új rendszerben tehergépkocsik alkalmazásával hozzávetőlegesen 316.100 km menetteljesítmény tartozik, ami kicsivel több, mint 1700 liter benzinfogyasztással, illetve kb. 17.500 liter gázolajfogyasztással jár, amelyekből pl. 3,5 tonna CO₂ kibocsátás keletkezik, amely a jelenlegi rendszerben vett kibocsátás fele. Amennyiben áttérünk a konszolidált beszállítások során a villamosok alkalmazására, a várható összes menetteljesítmény hozzávetőlegesen 312.900 km-re csökken (kevesebb tranzakcióra van szükség a nagyobb kapacitás miatt, azonban kicsit hosszabbak az útvonalak), ez pedig havi 17169,2 kWh elektromos áramfogyasztást jelent, amely viszont nem jár közvetlen káros anyag kibocsátással. A vizsgált fő paraméterek (havi mennyiségek) összehasonlítva az 5.12. táblázatban láthatók. A fő paraméterek eloszlásai a 6. mellékletben láthatók box-plot, illetve gyakoriság diagramokon.

5.12. táblázat: A fő paraméterek változása az MS Excel alapú modellben

	Jelenlegi	Új (tgc)	Változás	Új (villamos)	Változás
Beszállítások száma	3396,7	1607,6	-52,7%	1462,1	-57,0%
Beszállított árutömeg [t]	1346,1	1347,2	+0,1%	1347,2	+0,1%
Házhozszállítások száma	4097,0	991,3	-75,8%	991,3	-75,8%
Házhozszállított árutömeg [t]	46,1	49,8	+8,0%	49,8	+8,0%
Kezelt göngyölegtömeg [t]	44,8	45,6	+1,8%	45,6	+1,8%
Menetteljesítmény [km]	635385,0	316109,0	-50,2%	312890,1	-50,8%
Szállítási teljesítmény (házhozszállítás nélkül) [t*km]	152851,7	174983,4	14,5%	181136,9	+18,5%
Benzin-fogyasztás [l]	3132,2	1729,2	-44,8%	1729,2	-44,8%
Gázolaj-fogyasztás [l]	37253,1	17473,8	-53,1%	14735,9	-60,4%
Áramfogyasztás [kWh]	0,0	0,0	+0,0%	17169,2	+100,0%
CO kibocsátás [kg]	35,7	17,5	-50,9%	16,8	-52,9%
CO ₂ kibocsátás [kg]	7119,0	3453,5	-51,5%	3293,1	-53,7%
HC kibocsátás [kg]	2,5	1,2	-50,6%	1,2	-52,5%
NO _x kibocsátás [kg]	14,3	6,9	-51,7%	6,6	-54,1%
PM kibocsátás [kg]	1,6	0,8	-50,9%	0,8	-52,9%

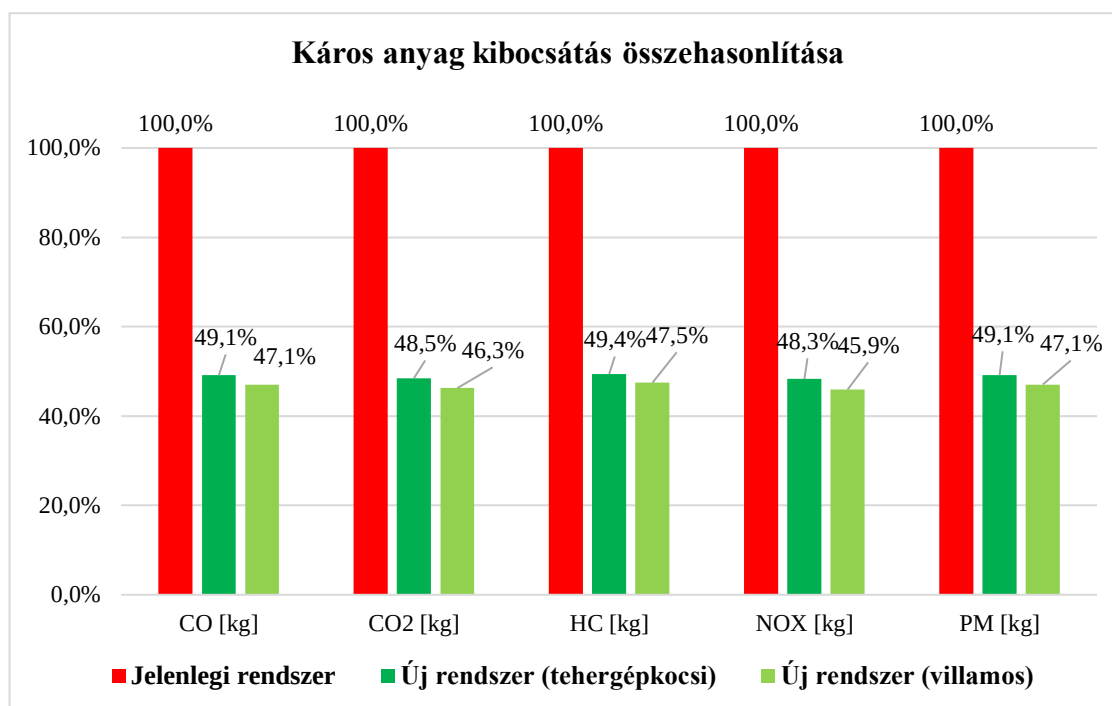
Az 5.20. ábrán látható a kapott eredmények összehasonlítása. Minden esetben (az áramfogyasztást kivéve) a jelenlegi rendszerre vonatkozó paramétereket veszem 100%-nak, ehhez képest látható a diagramon a paraméterek változása.



5.20. ábra: A fizikai paraméterek összehasonlítása az MS Excel-ben végzett szimulációs kísérletek alapján

Látható, hogy a tranzakciók száma és az összes menetteljesítmény radikálisan csökken, magával vonva a fogyasztás csökkenését is, egyedül a szállítási teljesítmény növekszik kis mértékben, mivel az összes áru érint egy új pontot az új rendszerben, a konszolidációs központot, a villamoshálózaton pedig tovább növekszik a megtett út mértéke. Mivel az új rendszerben nagyobb mennyiséget mozgatunk egyszerre, ezért ennek a menetteljesítményre nincs hatása. Az 5.21. ábrán láthatjuk, hogy a megtett út csökkenése hogyan csökkenti a káros anyagok közvetlen kibocsátását.

Láthatjuk, hogy a MS Excel alapú szimulációs modell eredményei alapján az új rendszer alkalmazása drasztikusan csökkenti a menetteljesítményt és ezáltal a káros anyag kibocsátást is (ezek az eredmények pedig megegyeznek az AnyLogic modellben végzett kísérletek eredményeivel is), azonban meg kell vizsgálnom azt is, hogy ez milyen hatással van az üzemeltetési költségekre.



5.21. ábra: Káros anyag kibocsátás összehasonlítása az MS Excel-ben végzett szimulációs kísérletek alapján

5.3.2.2. Költségparaméterek vizsgálata

Korábban is vizsgáltam már a költségeket, akkor csak a beszállítási tranzakciókat vizsgálva is jelentős, 25% körüli költségcsökkenést állapíthattunk meg az új rendszer alkalmazása esetén [31] [32]. Most azonban lehetőségem van a teljes rendszert elemezni a költségek szempontjából is, mivel már minden folyamat matematikai és szimulációs modellje rendelkezésünkre áll. Az 5.13. táblázatban láthatók a jelenlegi rendszerrel kapcsolatos költségek, a 5.14. táblázatban pedig az új rendszerre vonatkozó költségadatok. A táblázatokban az összesített havi üzemeltetési (logisztikai) költségek szerepelnek, költséghelyek szerinti bontásban, az összköltség eloszlása a fizikai paraméterek eloszlásához hasonlóan a 6. mellékletben található a jelenlegi és az új rendszerre egyaránt.

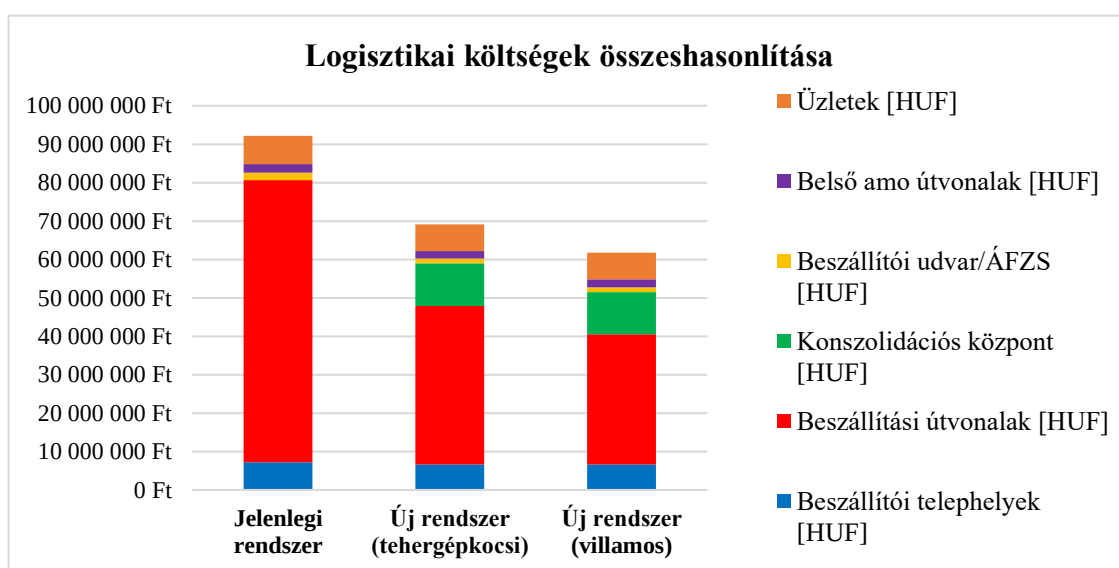
5.13. táblázat: Havi logisztikai költségek alakulása a jelenlegi rendszerben, az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján

<i>Jelenlegi rendszer</i>	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás
Beszállítói telephelyek	6 524 487 Ft	7 836 022 Ft	7 209 331 Ft	231 375 Ft
Beszállítási útvonalak	69 026 672 Ft	80 642 984 Ft	73 411 516 Ft	2 144 283 Ft
Beszállítói udvarok	1 772 792 Ft	2 092 767 Ft	1 954 331 Ft	66 168 Ft
Belső anyagmozgatási útvonalak	1 887 286 Ft	2 403 822 Ft	2 181 029 Ft	107 122 Ft
Üzletek	6 942 775 Ft	7 934 348 Ft	7 401 531 Ft	201 595 Ft
Összes költség	87 516 536 Ft	99 541 464 Ft	92 157 737 Ft	2 194 832 Ft

5.14. táblázat: Havi logisztikai költségek alakulása az új rendszerben, az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján

Új rendszer	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás
Beszállítói telephelyek	5 930 620 Ft	7 317 721 Ft	6 658 637 Ft	281 778 Ft
Beszállítási útvonalak (Beszállítók-CC)	28 702 194 Ft	34 967 508 Ft	32 008 660 Ft	1 236 477 Ft
Konszolidációs központ	10 013 879 Ft	12 137 871 Ft	11 032 111 Ft	435 892 Ft
Beszállítási útvonalak (CC-ből indulva, tehergépkocsik esetén)	8 555 597 Ft	10 011 608 Ft	9 264 518 Ft	388 864 Ft
Beszállítási útvonalak (CC-ből indulva, közúti vasút esetén)	1 554 248 Ft	2 014 573 Ft	1 813 556 Ft	92 115 Ft
Áruforgalmi zsilipek	1 144 758 Ft	1 296 055 Ft	1 216 296 Ft	33 264 Ft
Belső anyagmozgatási útvonalak	1 798 980 Ft	2 358 100 Ft	2 048 135 Ft	98 411 Ft
Üzletek	6 407 587 Ft	7 735 538 Ft	6 950 149 Ft	275 059 Ft
Összes költség (tehergépkocsik esetén)	66 105 196 Ft	72 679 904 Ft	69 168 923 Ft	1 489 407 Ft
Összes költség (közúti vasút esetén)	58 695 324 Ft	66 187 572 Ft	62 591 566 Ft	1 540 808 Ft

Látható, hogy a teljes rendszert vizsgálva is a szimulációs futtatások alapján azt az eredményt kapjuk, hogy jelentősen csökkennek az üzemeltetési költségek (24,9%-os csökkenést tapasztalunk tehergépkocsik alkalmazásával a teljes rendszer esetén is, villamost használva pedig 32,1%-os a költségcsökkenés), elsősorban a beszállítási útvonalakon jelentkező 43,8%-os (villamos esetén 53,9%-os) költségcsökkenésnek köszönhetően. Új költséghely az új rendszerben a konszolidációs központ, de az itt keletkező több, mint 10 millió Ft-os havi költség ellenére is redukálhatók lehetnek a költségek az új rendszer alkalmazásával, mint azt az 5.22. ábra is mutatja.



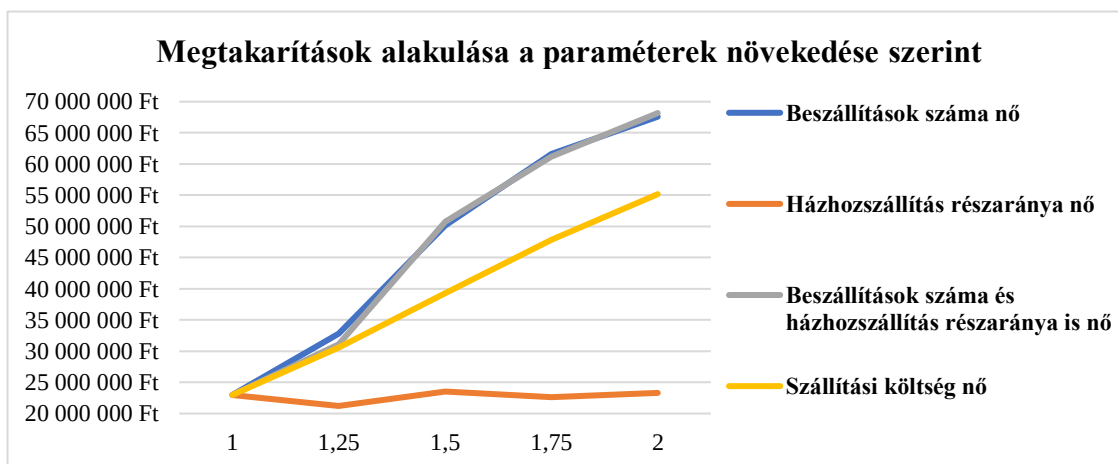
5.22. ábra: Logisztikai költségek összehasonlítása az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján

Az alábbi 5.15. táblázatban pedig az látható, hogy az egyes költséghelyeken hogyan változnak a költségek, minden esetben a nagyobb értéket véve 100%-nak.

5.15. táblázat: Logisztikai költségek változása költséghelyek szerint az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján

	Jelenlegi rendszer	Új rendszer (tgk)	Változás	Új rendszer (villamos)	Változás
Beszállítói telephelyek	100,0%	92,4%	-7,6%	92,4%	-7,6%
Beszállítási útvonalak	100,0%	56,2%	-43,8%	46,1%	-53,9%
Konszolidációs központ	0,0%	100,0%	+100%	100,0%	+100%
Beszállítói udvar/ ÁFZS	100,0%	62,2%	-37,8%	62,2%	-37,8%
Belső amo útvonalak	100,0%	93,9%	-6,1%	93,9%	-6,1%
Üzletek	100,0%	93,9%	-6,1%	93,9%	-6,1%
Összes költség	100,0%	75,1%	-24,9%	67,9%	-32,1%

Láthatjuk, hogy az új rendszer alkalmazása esetén a jelenlegi árumennyiségekkel és az ahhoz becsült fajlagos költségekkel vizsgálódva jelentős költségcsökkenés mutatható ki a MS Excel alapú szimulációs modell használatával végzett részletesebb vizsgálatok alapján. Az eddig kapott eredmények elemzése mellett végeztem érzékenységvizsgálatokat is, különböző paraméterek (szállítások száma, házhozszállítás részaránya, szállítási és tárolási költség stb.) változásának összköltségre vetített hatását vizsgálva. A megtakarítás változása ekkor az 5.23. ábrán látható, a részletes eredmények pedig az a 7. mellékletben láthatók.



5.23. ábra: A megtakarítások alakulása a különböző paraméterek növekedése esetén

Az érzékenységvizsgálatok során kapott eredményeim azt mutatják, hogy az elérhető megtakarításra a legnagyobb hatást a fajlagos szállítási költség és a szállítások számának megváltozása fejt ki, a házhozszállítások részarányának növekedése pedig mind a jelenlegi, mind pedig az új rendszerben ugyanakkora mértékben növeli meg a költségeket.

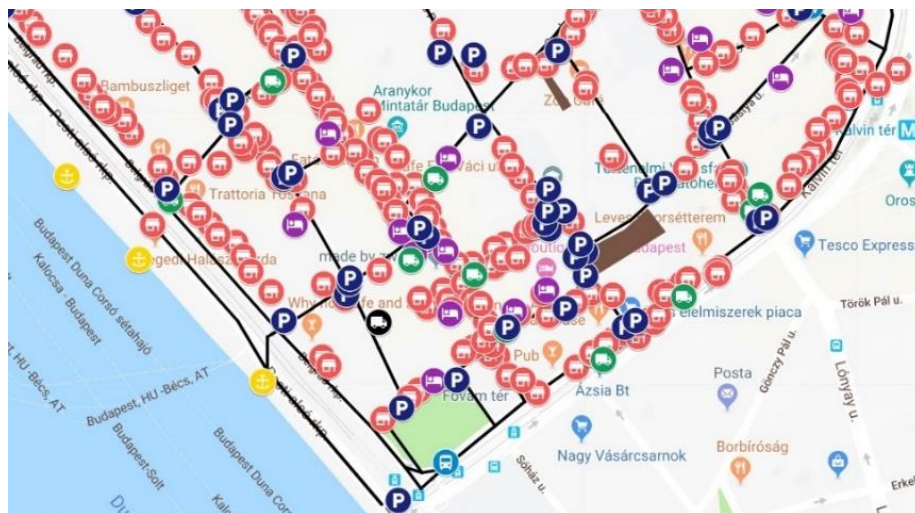
5.4. További modellezési feladatok

Természetesen számos további modellezési feladat maradt így is a vizsgált területen. Legfontosabb feladat az AnyLogic alapú szimulációs modell fejlesztése lesz a következő időszakban, ki kell bővíteni a közúti vasutat alkalmazó rendszer vizsgálatával, valamint fel kell építeni benne a modell további részeit is (pl. házhozszállítások, üzletek közötti szállítások), amivel az Excel alapú megoldással egyenértékű vizsgálatokat tudunk majd végezni. Ezen felül a további közlekedési ágazatok (vízi utak alkalmazása beszállítások esetén, cargo kerékpár alkalmazása házhozszállítások esetén) alkalmazását is szeretném részletesebben vizsgálni a továbbiakban, mind az Excel alapú, mind pedig az AnyLogic szimulációs modellben.

A későbbiekben fontos feladat lesz annak eldöntése is, hogy melyik szimulációs eszközben végezzük a további fejlesztéseket. Excel-ben sokkal kötetlenebb módon tudunk fejleszteni, de az így kapott modell futása lassabb, és megjelenítésre sincsen önmagában lehetőségünk. AnyLogic esetén elérhető a gyorsabb futás, megjelenítésre is van lehetőségünk, azonban nagyon komplex eszközről lévén szó, bonyolultabb a fejlesztés is, JAVA-alapú kódokkal, SQL-lekérdezésekkel, folyamatábrákkal, állapotábrákkal és számos paraméter beállításával is dolgoznunk kell, miközben Excel-ben cellafüggvények és VBA alkalmazásával is megvalósítható ugyanez. Nagyobb, adott esetben az egész várost vizsgáló modellek esetén fontos tényező lesz az AnyLogic elérhető verziójában felhasználható ágensek száma is, lehetséges, hogy ebben a verzióban nem is lehet majd a teljes rendszert leképezni. Miután mindkét eszközben felépítettem a modellt, elmondhatom, hogy mindkét eszköznek számos előnye van a másikkal szemben, azonban lehetséges, hogy a továbbiakban az AnyLogic eddig még ismeretlen funkcióit is megismerve további előnyöket érhetünk majd el és akár minden tekintetben előtérbe kerülhet az AnyLogic alapú fejlesztés.

Ezen felül foglalkozni kell majd a Váci utca bevásárlóövezet (ld. 5.24. ábra) modellezésével is, amelynek topológiai modellje már elkészült [26], de szükséges lesz a logisztikai folyamatok szimulációs modellezése is, ehhez pedig szükséges lesz az AnyLogic modell fejlesztése, mivel a nyílt infrastruktúrájú igénypont halmazoknál egy

nagyobb kiterjedésű, utcák és terek által határolt területet kell vizsgálni, így máshogy kell majd kezelni ezt a területet. Bevásárlóövezetek esetén ezenkívül valószínű, hogy az új rendszerekben a nagyobb kiterjedés miatt nem csak áruforgalmi zsilipekre, hanem további rakodóhelyekre is szükség lesz a hatékony működés érdekében. Ezzel a fejlesztéssel elérhető lenne az, hogy bármely típusú koncentrált igénypont-halmaz jelenlegi és új city logisztikai rendszerei is vizsgálhatók legyenek a továbbiakban.



5.24. ábra: Modellezendő objektumok a Váci utca bevásárlóövezet egy részén [26]

Jelenleg 3 bevásárlóközpontra és 1 bevásárlóövezetre állnak rendelkezésünkre részletes adatok, azonban a koncentrált igénypont-halmazok logisztikai rendszereinek részletes vizsgálatához további adatgyűjtésre is szükség lesz, eddig még nem vizsgált területekről. A city logisztikai kutatócsoporttal szeretnénk megvizsgálni egy piacot a továbbiakban (jó lenne erre a Nagyvásárcsarnok), valamint a Váci utcában történt adatgyűjtést szeretnénk kiterjeszteni a Deák Ferenc tér, Astoria, valamint a Kálvin tér által bezárt területig. Ebben az esetben a teljes bevásárlóövezet és a terület integráns részét képző piacra kidolgozhatnánk új rendszerkonceptiókat. Ezeken felül fontos lenne megismerni egy külső városrészen található bevásárlóközpont, valamint egy vidéki városban található bevásárlóközpont folyamatait, valamint szeretnénk vizsgálni egy másik országban található bevásárlónegyedben is.

Természetesen az elért eredmények alapján a jövőben is szeretnénk további publikációkat és konferencia-előadásokat készíteni a témával kapcsolatban, elsősorban a bevásárlóövezetek topológiai modellezését, másodsorban pedig a matematikai modellt és a szimulációs modellezés legújabb eredményeit szeretném majd publikálni a következő időszakban, amikor is a kutatásomat PhD-kutatás keretében szeretném tovább folytatni.

6. Összefoglalás

2015 nyarán kezdtünk el foglalkozni a budapesti koncentrált igénypont-halmazok logisztikai rendszereivel az ALRT city logisztikai kutatócsoportjában. Akkoriban semmilyen adatunk nem állt rendelkezésre, onnan pedig mára eljutottunk oda, hogy közel 500 üzlet részletes adataival dolgozhatunk, és rendelkezésünkre áll a folyamatok és a költségstruktúra részletes matematikai modellje, egy MS Excel alapú mezoszkópikus szintű szimulációs modell a teljes jelenlegi és egy kétlépcsős, konszolidációs központot alkalmazó új rendszerre is. Ezeken kívül pedig diplomamunkám fő eredményeként elkészült a jelenlegi és az új beszállítási rendszer szimulációs modellje is az AnyLogic szimulációs szoftverben.

Diplomamunkámban elsőként bemutattam a korábbi kutatási eredményeinket, valamint néhány már működő city logisztikai rendszert más európai városokból. Ezt követően bemutatásra került a részletes matematikai modell, mind a jelenlegi rendszerre, mind pedig a jövőbeni rendszerre (ennek esetén tehergépkocsival és közúti vasúti szerelvénnnyel dolgozva is). Ezt a matematikai modellt írja le az elmúlt két évben kidolgozott MS Excel alapú szimulációs modell, amely részletes eredményeket szolgáltatott számunkra, valamint ez alapján építettem fel a szimulációs modellt egy pilot koncentrált igénypont-halmazra a Combi-módszer segítségével kiválasztott specifikus ellátási lánc-szimulátor szoftverben, az AnyLogic-ban.

Mind az Excel, mind pedig az AnyLogic alapú szimulációs futtatások eredményeképpen azt mondhatom, hogy a beszállításokat, valamint az azokhoz tartozó házhozszállításokat és göngyölegkezelési folyamatokat vizsgálva, 178 üzlet adataival dolgozva az új rendszerben a beszállítási tranzakciók száma és ezáltal a menetteljesítmény hozzávetőlegesen 50%-kal csökkenthető lenne, ez pedig a kibocsátások hasonló mértékű csökkenését is maga után vonja. Ez azt jelenti, hogy a városi utak terhelése és a környezetterhelés is jelentősen csökkenthető lenne az új rendszerrel. Emellett az Excel modell költségadatokat is szolgáltatott számomra, ezek pedig azt mutatják, hogy 25%-os költségcsökkenést lehetne elérni az új rendszer alkalmazásával, ez 178 üzlet esetén havi több, mint 20 millió forintot jelentene.

A kapott eredmények tehát azt mutatják, hogy mindenképpen érdemes ezzel a területtel dolgozni a továbbiakban, mivel óriási megtakarítások érhetők el, az AnyLogic alapú szimulációs szoftver további fejlesztése pedig lehetővé teszi a későbbiekben bármely típusú koncentrált igénypont-halmaz city logisztikai folyamat részletes vizsgálatát.

Köszönetnyilvánítás



„AZ EMBERI ERŐFORRÁSOK MINISZTERIUMA ÚNKP-18-2 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT”

Ezúton szeretném megköszönni a kutatásban nyújtott rengeteg segítségét a konzulensemnek, **Dr. Bóna Krisztiánnak**; a matematikai modellezés jelöléseivel kapcsolatos segítségét **Csóti Beátának**, az ALRT mestertanárának; valamint **Bertalan Marcellnek**, az ALRT tanársegédjének az AnyLogic elsajátítása kapcsán nyújtott segítségét.

Ábrajegyzék

2.1. ábra: A városi igénypontok csoportosítása.....	6
2.2. ábra: A vizsgált koncentrált igénypont-halmazok elhelyezkedése Budapesten.....	7
2.3. ábra: Áruszállító villamos Zürichben.....	10
2.4. ábra: A DHL cargo kerékpáros rendszerének működése Amszterdamban.....	10
2.5. ábra: Működő, konszolidált rendszerek száma Európában.....	11
2.6. ábra: A padovai Cityporto rendszer működése.....	12
2.7. ábra: A városi koncentrált igénypont-halmazokkal kapcsolatos kutatás fő lépései és legfontosabb eredménytermékei.....	15
3.1. ábra: A koncentrált igénypont-halmazok jelenlegi áruellátási rendszere.....	16
3.2. ábra: A koncentrált igénypont-halmazok áruellátási rendszerének lehetséges új, célfuvaros szervezésű megoldása.....	17
3.3. ábra: A koncentrált igénypont-halmazok áruellátási rendszerének lehetséges új, körjáratos szervezésű megoldása.....	18
3.4. ábra: Új rendszerkoncepció kizárólag közúti járművek alkalmazásával.....	19
3.5. ábra: Közúti vasúti áruszállító szerelvény.....	19
3.6. ábra: Új rendszerkoncepció koncentrált igénypont-halmazok ellátására villamos alkalmazásával.....	20
3.7. ábra: A budapesti villamoshálózat 2016-ban.....	21
3.8. ábra: Új rendszerkoncepció koncentrált igénypont-halmazok ellátására cargo hajó alkalmazásával.....	22
3.9. ábra: A modellezési folyamat.....	24
4.1. ábra: Az MS Excel alapú szimulációs modell napi beszállítás-generátor munkalapja.....	26
4.2. ábra: Az MS Excel alapú szimulációs modell órás beszállítás-generátor munkalapja.....	27
4.3. ábra: Városon kívüli üzemanyag-fogyasztást számító Excel-munkalap a jelenlegi rendszer szimulációs modellje esetén.....	29
4.4. ábra: Az üzletek (beszállítási tranzakciókhoz tartozó) készletét számító Excel-munkalap a jelenlegi rendszer esetén.....	31
4.5. ábra: Inverz logisztikai feladatok előfordulása a vizsgált üzleteknél (N=178).....	33
4.6. ábra: A különböző éves gyakoriságok előfordulása a visszárukezelés esetén (N=19).....	34
4.7. ábra: A göngyölegkezelés során keletkező teljesítményeket modellező Excel-munkalap a jelenlegi rendszer esetén.....	35

4.8. ábra: A beszállítási napokat generáló Excel-munkalap az új rendszer esetén.....	39
4.9. ábra: A koncentrált igénypont-halmazra konszolidáltan kiszállítandó árumennyiséget meghatározó Excel-munkalap az új rendszer esetén.....	44
4.10. ábra: Házhozszállítások lebonyolítása a jelenlegi rendszerben.....	45
4.11. ábra: Házhozszállítások lebonyolítása az új rendszerben.....	46
4.12. ábra: Házhozszállítási hátralékok kezelése az új rendszer esetén.....	47
4.13. ábra: A konszolidált beszállításokat kezelő Excel-munkalap az új rendszerben.....	49
4.14. ábra: A koncentrált igénypont-halmazról kiinduló házhozszállításokat kezelő Excel-munkalap.....	53
4.15. ábra: Kísérlettervező komponens az MS Excel alapú szimulációs modellben.....	55
4.16. ábra: A költségeket számító Excel-munkalap az új rendszer esetén.....	58
5.1. ábra: Az AnyLogic-ba importált adatbázis.....	63
5.2. ábra: Rakodó és üzletek elhelyezkedése térképen, AnyLogic-ban.....	63
5.3. ábra: A vizsgált koncentrált igénypont-halmaz és a beszállítók térképen, AnyLogic-ban.....	64
5.4. ábra: Az időkezelési folyamat AnyLogic-ban.....	65
5.5. ábra: Az üzletek megrendeléseit generáló kód és paraméterek AnyLogic-ban.....	66
5.6. ábra: Beszállítási folyamat állapotábrája a járművek populációján belül.....	66
5.7. ábra: Megrendelés-feldolgozási folyamat a beszállítók populációján belül.....	67
5.8. ábra: Lerakodási és göngyölegfelrakodási folyamat felépítése a beszállítói udvarban.....	68
5.9. ábra: Működő beszállítási folyamatok a jelenlegi rendszer modelljében.....	68
5.10. ábra: A konszolidációs központ elhelyezkedése az új rendszerben, AnyLogic-ban.....	70
5.11. ábra: Beszállítási folyamat állapotábrája a beszállítók és a konszolidációs központ között az új rendszerben.....	70
5.12. ábra: Készletdiagram tetszőleges üzletre az AnyLogic-modellben.....	74
5.13. ábra: A konszolidációs központ megrendelés-feldolgozási folyamata.....	74
5.14. ábra: Beszállítási folyamat állapotábrája a konszolidációs központ és az áruforgalmi zsilip között.....	75
5.15. ábra: Lerakodási folyamat az áruforgalmi zsilipben.....	75
5.16. ábra: A zsilipből a konszolidációs központba visszatérő szállítás az új rendszer szimulációs modelljében.....	76
5.17. ábra: Hibaüzenet AnyLogic-ban hibás indexelés miatt.....	77

5.18. ábra: A teljesítményparaméterek változása az AnyLogic-ban végzett szimulációs futtatások alapján.....	80
5.19. ábra: Káros anyag kibocsátás változása az AnyLogic-ban végzett szimulációs futtatások alapján.....	80
5.20. ábra: A fizikai paraméterek összehasonlítása az MS Excel-ben végzett szimulációs kísérletek alapján.....	85
5.21. ábra: Káros anyag kibocsátás összehasonlítása az MS Excel-ben végzett szimulációs kísérletek alapján.....	86
5.22. ábra: Logisztikai költségek összehasonlítása az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján.....	87
5.23. ábra: A megtakarítások alakulása a különböző paraméterek növekedése esetén.....	88
5.24. ábra: Modellezendő objektumok a Váci utca bevásárlóövezet egy részén.....	90

Táblázatjegyzék

4.1. táblázat: A Clarke&Wright VRP-becslő formulák alkalmazása a matematikai modellben a jelenlegi rendszer esetén.....	37
4.2. táblázat: A Clarke&Wright VRP-becslő formulák alkalmazása a matematikai modellben az új rendszer esetén.....	54
5.1. táblázat: A vizsgált szimulációs eszközök fő tulajdonságai.....	60
5.2. táblázat: Súlyszámok meghatározása COMBI-módszerrel.....	60
5.3. táblázat: A vizsgált szimulációs szoftverek értékelő pontszámai.....	61
5.4. táblázat: Szimulációs eszköz kiválasztása COMBI-módszerrel.....	61
5.5. táblázat: Kezelt mennyiségek és várható értékük az AnyLogic alapú modell esetén...	78
5.6. táblázat: Az AnyLogic-ban végzett szimulációs futtatások során kapott eredmények...	79
5.7. táblázat: A beszállítási tranzakciók havi jellemzői a jelenlegi rendszerben, az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján.....	81
5.8. táblázat: A házhozszállítási tranzakciók jellemzői a jelenlegi rendszerben, az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján.....	81
5.9. táblázat: Beszállítások jellemzői az új rendszerben a beszállítók és a CC között, az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján.....	82
5.10. táblázat: Beszállítások jellemzői az új rendszerben a CC és a koncentrált igénypont-halmazok között, az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján.....	83
5.11. táblázat: Házhozszállítások jellemzői az új rendszerben, az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján.....	83
5.12. táblázat: A fő paraméterek változása az MS Excel alapú modellben.....	84
5.13. táblázat: Havi logisztikai költségek alakulása a jelenlegi rendszerben, az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján.....	86
5.14. táblázat: Havi logisztikai költségek alakulása az új rendszerben, az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján.....	87
5.15. táblázat: Logisztikai költségek változása költség helyek szerint az MS Excel-ben végzett szimulációs futtatások alapján.....	88

Irodalomjegyzék

- [1] KSH. **A kiskereskedelmi üzletek számának alakulása** (2017). URL: http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_evkozi/e_okk012.html (Letöltve: 2018. 08. 06.)
- [2] KSH. **Bevásárlóközpontok címlistája 2008** (2008). URL: <http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/bevkep/bevkep08.pdf> (Letöltve: 2018. 08. 06.)
- [3] KSH. **Idősoros éves adatok - Belkereskedelem** (2017). URL: http://www.ksh.hu/stadat_eves_4_4 (Letöltve: 2018. 08. 06.)
- [4] KSH. **Hipermarketek címlistája 2008** (2008). URL: http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/bevkep/melleklet_hiper08.pdf (Letöltve: 2018. 08. 06.)
- [5] Dr. Bóna Krisztián. **Szállítási logisztika EA02 - Gateway koncepció, városellátás** (2015). URL: <https://www.logisztika.bme.hu/hu/hallgatoknak/tananyagok.html> (Letöltve: 2015. 09. 20.)
- [6] Henrik Johansson, Maria Björklund. **Urban consolidation centres: retail stores demands for UCC services** (2017). International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 47(7), 646-662. URL: <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2017-0114> (Letöltve: 2018. 09. 17.)
- [7] Levegő Munkacsoport. **Teherszállítás.** URL: <https://www.levegő.hu/tevekenysegeink/kozlekedes/teherszallitas> (Letöltve: 2018. 09. 17.)
- [8] BKK. **Budapest Közlekedésfejlesztési Stratégiája 2014-2030** (2014). URL: <https://bkk.hu/wp-content/uploads/2014/06/BMT.pdf> (Letöltve: 2017. 01. 15.)
- [9] Budapest Főváros Önkormányzat. **Budapest 2030** (2011). URL: http://budapest.hu/Documents/varosfejlesztési_koncepcio_2011dec/10_Kozlekedesi_infrastruktura.pdf (Letöltve: 2017. 01. 15.)
- [10] Strang Tamás. **Budapest City Logisztikai Koncepciója** (2016). URL: http://www.mkt.hu/wp-content/uploads/2016/09/Strang_Tamas.pdf (Letöltve: 2017. 01. 15.)
- [11] Dr. Nagy Ervin. **Városi áruszállítás** (1982). Műszaki Könyvkiadó, Budapest. ISBN 963 10 3901 3.
- [12] Stadt Zürich. **Cargo- und E-Tram.** URL: https://www.stadt-zuerich.ch/vbz/de/index/die_vbz/services/cargo_tram_und_etram.html (Letöltés: 2018. 09. 10.)
- [13] Regionalbahn.hu. **Megmarad a CarGoTram** (2017). URL: <http://www.regionalbahn.hu/2017/03/CarGoTram-comeback.html> (Letöltve: 2018. 09. 10.)
- [14] Reuters. **In Amsterdam, packages travel via canals, bicycles** (2009). URL: <https://www.reuters.com/article/us-dhl-amsterdam-boat/in-amsterdam-packages-travel-via-canals-bicycles-idUSTRE56E2TE20090715> (Letöltve: 2018. 09. 10.)

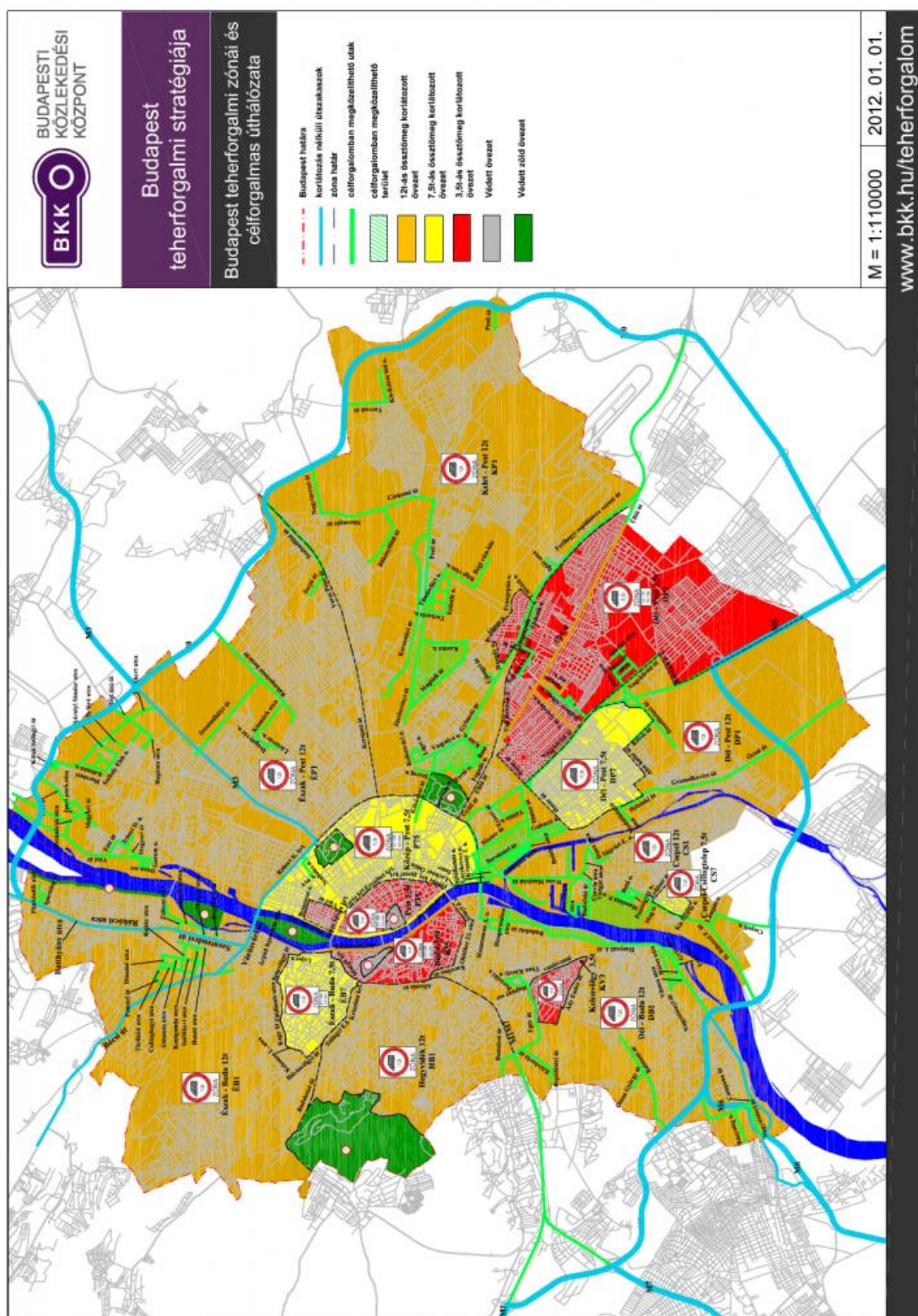
- [15] *Gemeente Utrecht. The beer boat.* URL: www.inlandnavigation.eu/media/18799/Utrecht-Beerboat.pdf (Letöltve: 2018. 09. 10.)
- [16] *European Cycle Logistics Federation. Members.* URL: <http://federation.cyclelogistics.eu/members> (Letöltve: 2017. 10. 10.)
- [17] *DHL. Towards Standards in City Logistics in City Logistics* (2015). *ECLF, San Sebastian 2015.* URL: <https://www.slideshare.net/MarceloFelipozzi/towards-standards-in-city-logistics-in-city-logistics-dhl> (Letöltve: 2017. 10. 10.)
- [18] *A. Gialos, A. Ntzoufas, V. Zeimpekis. Urban Consolidation Centers: State-of-the-art, best practices and operational challenges* (2016). *ESCC 2016 Marthon-Athens.* URL: <https://slideplayer.com/slide/12410798/> (Letöltve: 2018. 09. 27.)
- [19] *Cityporto Cityporto Padova. Freight mobility in urban areas - A successful model of city logistics* (2007). URL: http://www.bestfact.net/wp-content/uploads/2013/10/BESTFACT_Brussels_12_12_07_Cityporto.pdf (Letöltve: 2018. 09. 10.)
- [20] *Dr. Bóna Krisztián. Korszerű technológiai megoldások a városközpontok áruellátásának szervezésében – 2. rész* (2010). URL: <http://citylog.kku.bme.hu/publications/tranzit2.pdf> (Letöltve: 2018. 09. 15.)
- [21] *Tim Hapgood. Broadmead Freight Consolidation Scheme* (2009). URL: <https://www.centallondonfqp.org/app/download/12244698/Bristol+consolidation+scheme+230408.pdf> (Letöltve: 2018. 09. 10.)
- [22] *Heathrow. Sustainable Transport Plan 2014-2019.* URL: https://www.heathrow.com/file_source/Company/Static/PDF/Heathrow_STP_inter.pdf (Letöltve: 2018. 09. 10.)
- [23] *Mészáros Bálint, Sárdi Dávid Lajos: Módszertan kidolgozása bevásárlóközpontok logisztikai szempontú átvilágítására* (2015). *BME KJK TDK, 2015.* URL: <https://tdk.bme.hu/KSK/DownloadPaper/Modszertan-kidolgozasa-bevasarlokozpontok>
- [24] *Bálint Mészáros, Dávid Lajos Sárdi, Krisztián Bóna, PhD. Developing and testing a methodology for acquiring the logistical characteristics of shopping malls in Budapest, for city logistical solutions* (2016). *5th IEEE ICALT, Krakow, Poland (2016).* pp 154-159, ISBN: 978-1-5090-2342-4
- [25] *Bálint Mészáros, Dávid Lajos Sárdi, Krisztián Bóna, PhD. Monitoring, measurement and statistical analysis (MMSA) based methodology for improvement city logistics of shopping malls in Budapest* (2017). *WRITR 2017 Vol.6, No.4, pp.352 – 371,* DOI: <http://dx.doi.org/10.1504/WRITR.2017.10009827>
- [26] *Büki Aletta, Kövér István Bence, Sárdi Dávid Lajos. Topológiai modell építése városi bevásárlóövezetek city logisztikai szempontú elemzésére* (2018). *BME KJK TDK 2018.* URL: <https://tdk.bme.hu/KSK/DownloadPaper/Topologiai-modell-epitese-varosi>

- [27] *Sárdi Dávid Lajos. Mezoszkópikus modell felépítése a bevásárlóközpontok áruellátásnak vizsgálatára* (2016). *BME KJK TDK 2016*. URL: <https://tdk.bme.hu/KSK/DownloadPaper/Mezoszkopikus-modell-felepitesi-a-budapesti>
- [28] *Sárdi Dávid Lajos. Mezoszkópikus modell felépítése a bevásárlóközpontok áruellátásnak vizsgálatára* (2017). *BME KJK Szakdolgozat*. URL: <http://dportal.kozlek.bme.hu/docs/befejezett/dolgozat/ALRT-A-FOLY-2016-11.pdf>
- [29] *Dávid Lajos Sárdi, Krisztián Bóna, PhD. Developing a mesoscopic simulation model for the examination of shopping mall freight traffic in Budapest* (2017). *Smart Cities Symposium 2017, Prague*. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7973835/> ISBN: 978-1-5386-3825-5, DOI: <https://doi.org/10.1109/SCSP.2017.7973835>
- [30] *Sárdi Dávid Lajos. A budapesti bevásárlóközpontok áruellátásának logisztikai modellezése* (2017). *Logisztikai Híradó XXVII. évfolyam 6. szám (2017)* pp. 20-24.
- [31] *Róka Ádám, Sárdi Dávid Lajos. A budapesti bevásárlóközpontok áruellátási rendszerére vonatkozó költségstruktúra matematikai modelljének leképezése* (2017). *BME KJK TDK 2017*. URL: <https://tdk.bme.hu/KSK/DownloadPaper/A-budapesti-bevasarlokozpontok-aruellatasi>
- [32] *Krisztián Bóna, PhD, Ádám Róka, Dávid Lajos Sárdi. Mathematical Modelling of the Cost Structure of the Logistics System of Shopping Malls in Budapest* (2018). *Periodica Polytechnica Transportation Engineering* 46(3), pp. 142-150. URL: <https://pp.bme.hu/tr/article/view/12073/7998> DOI: <https://doi.org/10.3311/PPtr.12073>
- [33] *Sárdi Dávid Lajos. Városi koncentrált igénypontok áruellátási rendszerének matematikai és szimulációs modellje* (2018). *BME KJK TDK 2018*. URL: <https://tdk.bme.hu/KSK/DownloadPaper/Varosi-koncentralt-igenypontok-aruellatasi>
- [34] *Losonczy Dávid. Budapest barna zónáinak city logisztikai célú felhasználási lehetőségeinek elemzése* (2013). *BME ALRT Szakdolgozat* 2013.
- [35] *Mázik Dávid. Áruszállítás Budapest villamos és HÉV hálózatán* (2013). *BME ALRT Szakdolgozat* 2013.
- [36] *Tóth Szilvia. A közös rakodóhelyek szerepe és fejlesztési lehetőségei a budapesti városellátásban* (2013). *BME ALRT Szakdolgozat* 2013.
- [37] *András Bakos, Krisztián Bóna, Szilvia Foltin. The development of a complex citylogistics cost model according to a multiple-stage gateway concept* (2012). *Periodica Polytechnica Transportation Engineering* 40/1 17-20. URL: <https://pp.bme.hu/tr/article/view/2117/1249>
- [38] *Sárdi Dávid Lajos. Rendszerkonceptió kidolgozása és modellezése cargo kerékpárok és mozgó raktárak alkalmazására a budapesti bevásárlóközpontok kiszolgálásában* (2017). *BME KJK TDK 2017*. URL: <https://tdk.bme.hu/KSK/DownloadPaper/Rendszerkonceptio-kidolgozasa-es-modellezese>

- [39] *Dávid Lajos Sárdi, Krisztián Bóna, PhD. Macroscopic simulation model of a multi-stage, dynamic cargo bike-based logistics system in the supply of shopping malls in Budapest* (2018). *Smart Cities Symposium 2018, Prague*. DOI: <https://doi.org/10.1109/SCSP.2018.8402680>
- [40] *Wikipédia. Budapest villamosvonal-hálózata.* URL: https://hu.wikipedia.org/wiki/Budapest_villamosvonal-h%C3%A1ll%C3%B3zata (Letöltve: 2018. 12. 05.)
- [41] *Villamosok.hu. Budapest villamoshálózata – Csomóponti helyszínrajzok* (2016). URL: <http://villamosok.hu/menet/terkep/terkep-2016-01-16.html> (Letöltve: 2018. 12. 05.)
- [42] *Dr. Bóna Krisztián. Kereslet- és készlettervezés EA10 – Sztochasztikus készletmodellek* (2018). URL: https://www.logisztika.bme.hu/letoltes/MSc/BMEKOALM328_Kereslet_es_keszlettervezes/Eloadas/EA10_Sztochasztikus_keszletmodellek.pdf (Letöltve: 2018. 09. 17.)
- [43] *Francesc Robuste, Miquel Estrada. Formulas to Estimate the VRP Average Distance Traveled in Elliptic Zones* (2004). URL: https://www.researchgate.net/publication/240638282_Formulas_to_Estimate_the_VRP_Average_Distance_Traveled_in_Elliptic_Zones
- [44] *Hvg.hu. Robban az e-kereskedelem* (2012). URL: http://hvg.hu/kkv/20120615_online_kiskereskedelem (Letöltve: 2015. 09. 15.)
- [45] *Simul8. Supply chain and logistics.* URL: <https://www.simul8.com/supply-chain-and-logistics/> (Letöltve: 2018. 10. 10.)
- [46] *AnyLogic. Supply chains.* URL: <https://www.anylogic.com/supply-chains/> (Letöltve: 2018. 10. 10.)
- [47] *FlexSim. Supply chain simulation.* URL: <https://www.flexsim.com/supply-chain-simulation/> (Letöltve: 2018. 10. 10.)
- [48] *Arena Simulation. Supply chain simulation software.* URL: <https://www.arenasimulation.com/industry-solutions> (Letöltve: 2018. 10. 10.)
- [49] *SimChain. SimChain Application.* URL: <https://simchain.net/app.html> (Letöltve: 2018. 10. 10.)
- [50] *AnyLogic. What is Agent Based Simulation Modeling?* URL: <https://www.anylogic.com/use-of-simulation/agent-based-modeling/> (Letöltve: 2018. 10. 25.)

Mellékletek

1. Budapest teherforgalmi zónái és célforgalmas úthálózata



2. Az áruszállítási folyamatok matematikai modelljének bemeneti adatai, jelölései és mértékegységei

Az i. típusú beszállítási tranzakció azonosítói		
A beszállító azonosítója	SUP_ID_i	
A konszolidációs központ azonosítója	CC_ID_i	
A koncentrált igénypont-halmaz (kiszolgált terület) azonosítója	CDP_ID_i	
Az üzlet azonosítója	SH_ID_i	
Az árucikk-csoport azonosítója	SKU_ID_i	
Beszállítási adatok		
Napi beszállítások maximális száma	$N_i^{\max(day)}$	[tranzakció /nap]
Havi beszállítások maximális száma	$N_i^{\max(month)}$	[tranzakció /nap]
Havi beszállítási napok száma a konszolidációs központba az új rendszerben	$N_i^{CC(in)}$	[tranzakció /nap]
Beszállítási ciklusidő	$T_i^{CC(in)}$	[nap]
Üzlet beszállítási időablakának alsó határa	$TW_i^{SH(LL)}$	[óra:perc]
Üzlet beszállítási időablakának felső határa	$TW_i^{SH(UL)}$	[óra:perc]
Konszolidációs központ beszállítási időablakának alsó határa	$TW_i^{CC(LL)}$	[óra:perc]
Konszolidációs központ beszállítási időablakának felső határa	$TW_i^{CC(UL)}$	[óra:perc]
Koncentrált igénypont-halmaz beszállítási időablakának alsó határa az új rendszerben	$TW_i^{SM(LL)}$	[óra:perc]
Koncentrált igénypont-halmaz beszállítási időablakának felső határa az új rendszerben	$TW_i^{SM(UL)}$	[óra:perc]
Városon belülről érkező beszállítások részaránya	p_i^{city}	[%]
Városon kívülről érkező beszállítások részaránya	p_i^{land}	[%]
Városon belülről induló szállításokhoz tartozó városon belül megtett út minimuma	$s_i^{city_LL}$	[km]
Városon belülről induló szállításokhoz tartozó városon belül megtett út maximuma	$s_i^{city_UL}$	[km]
Városon kívülről induló szállításokhoz tartozó városon belül megtett út minimuma	$s_i^{land_LL}$	[km]
Városon kívülről induló szállításokhoz tartozó városon belül megtett út maximuma	$s_i^{land_UL}$	[km]
Városon belülről induló szállításokhoz tartozó városon belül megtett út	$s_i^{city(c)}$	[km]
Városon kívülről induló szállításokhoz tartozó városon belül megtett út	$s_i^{land(c)}$	[km]
Városon kívülről induló szállításokhoz tartozó városon kívül megtett út	$s_i^{land(l)}$	[km]
A beszállító és a konszolidációs központ közötti távolság az új rendszerben, közúton	$s_i^{land_CC}$	[km]

A konszolidációs központ és a koncentrált igényponti áruforgalmi zsilip közötti távolság közúton	$s_{land_CC-CDP(road)}$	[km]
A koncentrált igényponti áruforgalmi zsilip és a konszolidációs központ közötti távolság közúton	$s_{city_CDP-CC(road)}$	[km]
A konszolidációs központ és a koncentrált igényponti áruforgalmi zsilip közötti távolság városi vasúton	$s_{city_CC-CDP(tram)}$	[km]
A koncentrált igényponti áruforgalmi zsilip és a konszolidációs központ közötti távolság városi vasúton	$s_{city_CDP-CC(tram)}$	[km]
Beszállító jármű típusa méret szerint	$veh_type_i^{SUP}$	
Beszállító jármű kapacitása tömegben kifejezve	$C_i^{SUP(m)}$	[t]
Beszállító jármű kapacitása térfogatban kifejezve	$C_i^{SUP(V)}$	[m ³]
Beszállító jármű meghajtásának típusa	$eng_type_i^{SUP}$	
Beszállító jármű fogyasztása	F_i^{SUP}	[l/100 km]
Beszállító jármű fajlagos CO kibocsátása	$K_i^{CO(SUP)}$	[g/km]
Beszállító jármű fajlagos CO ₂ kibocsátása	$K_i^{CO_2(SUP)}$	[g/km]
Beszállító jármű fajlagos HC kibocsátása	$K_i^{HC(SUP)}$	[g/km]
Beszállító jármű fajlagos NO _x kibocsátása	$K_i^{NO_x(SUP)}$	[g/km]
Beszállító jármű fajlagos PM kibocsátása	$K_i^{PM(SUP)}$	[g/km]
Beszállítást végző közúti jármű kapacitása tömegben kifejezve az új rendszerben	$C^{sup_CC_road(m)}$	[kg]
Beszállítást végző közúti jármű kapacitása térfogatban kifejezve az új rendszerben	$C^{sup_CC_road(V)}$	[m ³]
Beszállítást végző közúti jármű kihasználtsági biztonsági tényezője az új rendszerben	γ^{road}	[%]
Beszállítást végző közúti jármű fogyasztása az új rendszerben	$F^{road(CC)}$	[l/100 km]
Beszállítást végző közúti jármű fajlagos CO kibocsátása az új rendszerben	$K^{CO(CC)}$	[g/km]
Beszállítást végző közúti jármű fajlagos CO ₂ kibocsátása az új rendszerben	$K^{CO_2(CC)}$	[g/km]
Beszállítást végző közúti jármű fajlagos HC kibocsátása az új rendszerben	$K^{HC(CC)}$	[g/km]
Beszállítást végző közúti jármű fajlagos NO _x kibocsátása az új rendszerben	$K^{NO_x(CC)}$	[g/km]
Beszállítást végző közúti jármű fajlagos PM kibocsátása az új rendszerben	$K^{PM(CC)}$	[g/km]
Beszállítást végző villamos pótkocsi kapacitása tömegben kifejezve az új rendszerben	$C^{sup_CC_tram(m)}$	[kg/pótkocsi]
Beszállítást végző villamos pótkocsi kapacitása térfogatban kifejezve az új rendszerben	$C^{sup_CC_tram(V)}$	[m ³ /pótkocsi]
Beszállítást végző villamos pótkocsi kihasználtsági biztonsági tényezője az új rendszerben	γ^{tram}	[%]

Beszállítást végző villamos vontató által vontatható pótkocsik száma az új rendszerben	$N^{tram_trailer}$	[db pótkocsi/ szerelvény]
Beszállítást végző villamos vontató fogyasztása az új rendszerben	E^{tram}	[kWh/tkm]
Szállítandó árura vonatkozó adatok		
Dobozos egységgrakományok száma	n_i^{box}	[db doboz/ beszállítás]
Dobozos egységgrakományok várható minimális tömege	$m_i^{box(min)}$	[kg/doboz]
Dobozos egységgrakományok várható maximális tömege	$m_i^{box(max)}$	[kg/doboz]
Dobozos egységgrakományok várható minimális térfogata	$V_i^{box(min)}$	[m ³ /doboz]
Dobozos egységgrakományok várható maximális térfogata	$V_i^{box(max)}$	[m ³ /doboz]
Raklapos egységgrakományok száma	n_i^{pal}	[db raklap/ beszállítás]
Raklapos egységgrakományok várható minimális tömege	$m_i^{pal(min)}$	[kg/raklap]
Raklapos egységgrakományok várható maximális tömege	$m_i^{pal(max)}$	[kg/raklap]
Raklapos egységgrakományok várható minimális térfogata	$V_i^{pal(min)}$	[m ³ /raklap]
Raklapos egységgrakományok várható maximális térfogata	$V_i^{pal(max)}$	[m ³ /raklap]
Egyéb típusú egységgrakományok száma	n_i^{oth}	[db/ beszállítás]
Egyéb típusú egységgrakományok várható minimális tömege	$m_i^{oth(min)}$	[kg]
Egyéb típusú egységgrakományok várható maximális tömege	$m_i^{oth(max)}$	[kg]
Egyéb típusú egységgrakományok várható minimális térfogata	$V_i^{oth(min)}$	[m ³]
Egyéb típusú egységgrakományok várható maximális térfogata	$V_i^{oth(max)}$	[m ³]
Raktározással kapcsolatos adatok		
Raktár típusa (üzletben vagy üzleten kívül helyezkedik el)	$storage_type_i$	
Raktár alapterülete	A_i^{stor}	[m ²]
Raktár kapacitása időben kifejezve	T_i^{stor}	[nap]

Inverz logisztikai folyamatokkal és házhozszállítással kapcsolatos adatok		
Göngyöleg típusa	$empty_type_i$	
Későbbiekben kezelendő göngyöleg mennyisége	n_i^{empty}	[db/beszállítás]
Későbbiekben kezelendő göngyölegek tömege	m_i^{empty}	[kg/db göngyöleg]
Házhoz szállítandó áru mennyisége az összes eladott áru arányában kifejezve	p_i^{hd}	[%]
Házhozszállítások havi gyakorisága	N_i^{hd}	[házhozszállítás /hónap]
Házhozszállítás során kiszolgálandó igénypontok napi száma	$N_i^{hd_dem}$	[házhozszállítási igény/nap]
Házhozszállítás minimális távolsága a koncentrált igénypont-halmaztól	$s_i^{hd_LL}$	[km]
Házhozszállítás maximális távolsága a koncentrált igénypont-halmaztól	$s_i^{hd_UL}$	[km]
Kiszolgálási idő a házhozszállítás során	t_i^{hd}	[h]
Házhozszállítással kiszolgált terület	A_i^{hd}	[m ²]
Házhozszállítást végző jármű mérete	$veh_type_i^{hd}$	
Házhozszállítást végző jármű kapacitása tömegben kifejezve	$C_i^{hd(m)}$	[t]
Házhozszállítást végző jármű kapacitása térfogatban kifejezve	$C_i^{hd(v)}$	[m ³]
Házhozszállítást végző jármű meghajtásának típusa	$eng_type_i^{hd}$	
Házhozszállítást végző jármű fogyasztása	F_i^{hd}	[l/100 km]
Házhozszállítást végző jármű fajlagos CO kibocsátása	$K_i^{CO(hd)}$	[g/km]
Házhozszállítást végző jármű fajlagos CO ₂ kibocsátása	$K_i^{CO_2(hd)}$	[g/km]
Házhozszállítást végző jármű fajlagos HC kibocsátása	$K_i^{HC(hd)}$	[g/km]
Házhozszállítást végző jármű fajlagos NO _x kibocsátása	$K_i^{NO_x(hd)}$	[g/km]
Házhozszállítást végző jármű fajlagos PM kibocsátása	$K_i^{PM(hd)}$	[g/km]
Házhozszállítást végző jármű kapacitása tömegben kifejezve az új rendszerben	$C_i^{hd_CC(m)}$	[kg]
Házhozszállítást végző jármű kapacitása térfogatban kifejezve az új rendszerben	$C_i^{hd_CC(v)}$	[m ³]
Házhozszállítást végző jármű kihasználtsági biztonsági tényezője az új rendszerben	$r_i^{hd_CC(v)}$	[%]
Házhozszállítást végző jármű fogyasztása az új rendszerben	$F_i^{hd_CC}$	[l gázolaj/100 km]
Házhozszállítást végző jármű fajlagos CO kibocsátása az új rendszerben	$K_i^{CO(hd_CC)}$	[g/km]
Házhozszállítást végző jármű fajlagos CO ₂ kibocsátása az új rendszerben	$K_i^{CO_2(hd_CC)}$	[g/km]
Házhozszállítást végző jármű fajlagos HC kibocsátása az új rendszerben	$K_i^{HC(hd_CC)}$	[g/km]

Házhozszállítást végző jármű fajlagos NO _x kibocsátása az új rendszerben	$K^{NOx(hd_CC)}$	[g/km]
Házhozszállítást végző jármű fajlagos PM kibocsátása az új rendszerben	$K^{PM(hd_CC)}$	[g/km]
Anyagmozgatási időszükséglettel kapcsolatos adatok		
Egy ciklusban maximálisan kezelhető árumennyiség tömegben kifejezve	$m_i^{amo_max}$	[kg]
Egy ciklusban maximálisan kezelhető árumennyiség térfogatban kifejezve	$V_i^{amo_max}$	[m ³]
Felrakodási ciklusidő a beszállítónál	$t_i^{load_up(SUP)}$	[min]
Lerakodási ciklusidő a beszállítónál	$t_i^{load_down(SUP)}$	[min]
Árukezelési ciklusidő beérkezéskor a konszolidációs központban	$t_i^{load_down(CC)}$	[min]
Árukezelési ciklusidő induláskor a konszolidációs központban	$t_i^{load_up(CC)}$	[min]
Konszolidációs ciklusidő a konszolidációs központban	$t_i^{cons(CC)}$	[min]
Árukezelési ciklusidő a koncentrált igénypont-halmaznál	$t_i^{load(CDP)}$	[min]
Árukezelési ciklusidő érkezéskor a beszállítói udvarban/ÁFZS-ben	$t_i^{load_down(CDP)}$	[min]
Árukezelési ciklusidő induláskor a beszállítói udvarban/ÁFZS-ben	$t_i^{load_down(CDP)}$	[min]
Belső anyagmozgatási ciklusidő az üzletben	$t_i^{amo(SH)}$	[min]
Árukezelési ciklusidő érkezéskor/betároláskor az üzletben	$t_i^{load_down(SH)}$	[min]
Árukezelési ciklusidő induláskor/kitároláskor az üzletben	$t_i^{load_down(SH)}$	[min]
Árukezelési végző operátor típusa a koncentrált igényponti beszállítói udvarban	$op_type_i^{CDP}$	
Anyagmozgatási ciklusidő az ÁFZS és az üzlet között	$t_i^{rak(CDP)}$	[min]
Felrakodási ciklusidő a koncentrált igényponti áruforgalmi zsilipben	$t_i^{rak_fel(CDP)}$	[min]
Lerakodási ciklusidő a koncentrált igényponti áruforgalmi zsilipben	$t_i^{rak_le(CDP)}$	[min]
Árukezelési ciklusidő beérkezéskor az üzletben	$t_i^{rak_le(SH)}$	[min]
Belső anyagmozgatási ciklusidő a konszolidációs központban	$t_i^{amo(SH)}$	[min]
Árukezelési ciklusidő induláskor a konszolidációs központban	$t_i^{rak_fel(SH)}$	[min]

3. A szimulációs futtatások során alkalmazott fajlagos költségek

3.1. Fajlagos költségek a jelenlegi rendszerben

		Jelölés	Megnevezés	Min	Max	Dimenzió	-tól	-ig	Dimenzió
A beszállítók telephelyein fellépő költségek	rakodás	$C_{fel,1,R,i,a}$	fajlagos felrakodási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
		$C_{le,1,R,i,a}$	fajlagos lerakodási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
	tárolás	$C_{be,1,T,i,a}$	fajlagos betárolási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
		$C_{ki,1,T,i,a}$	fajlagos kitárolási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
		$C_{\lambda,1,T,i,a}$	fajlagos készlettartási költség	-	-	Ft/t/nap	$\lambda=$	10	%/év
		$C_{t,1,T,i,a}$	fajlagos tárolási költsége	4000	8000	Ft/t/hónap			
		$C_{mr,1,T,i,a}$	fajlagos megrendelési költség	200	500	Ft/tranzakció			
	intralogisztikai operáció	$C_{1,I(kézi),i,a}$	kézi tárolótéri anyagmozgatás fajlagos ktg-e	800	1000	Ft/óra			
		$C_{1,I(gépi),i,a}$	gépi tárolótéri anyagmozgatás fajlagos ktg-e	900	1200	Ft/óra			
		$C_{1,I(kom),i,a}$	komissiózás fajlagos költsége	900	1200	Ft/óra			
	adminisztráció	$C_{1,A,i,a}$	fajlagos adminisztrációs költsége	50	100	Ft/tranzakció			
A beszállítási útvonalakon fellépő költségek	L TL szállítás	$C_{LTL,Ki,2,S,i,b}$	kiállítás fajlagos költsége	4000	5000	Ft/kiállítás			
		$C_{LTL,R,2,S,i,b}$	rakott menet fajlagos költsége	50	100	Ft/km (<100 km)	20	50	Ft/km (>100 km)
		$C_{LTL,ÜR,2,S,i,b}$	üres menet fajlagos költsége	30	60	Ft/km (<100 km)	10	30	Ft/km (>100 km)
		$C_{LTL,inv,2,S,i,d}$	inverz anyagáram fajlagos költsége	40	80	Ft/km (<100 km)	15	40	Ft/km (>100 km)
		$C_{t,LTL,2,S,i,b}$	időarányos fajlagos költség	1500	2500	Ft/óra			
	FTL szállítás	$C_{FTL,Ki,2,S,i,b}$	kiállítás fajlagos költsége	4000	5000	Ft/kiállítás			
		$C_{FTL,R,2,S,i,b}$	rakott menet fajlagos költsége	50	100	Ft/km (<100 km)	20	50	Ft/km (>100 km)
		$C_{FTL,ÜR,2,S,i,b}$	üres menet fajlagos költsége	30	60	Ft/km (<100 km)	10	30	Ft/km (>100 km)
		$C_{FTL,inv,2,S,i,d}$	inverz anyagáram fajlagos költsége	40	80	Ft/km (<100 km)	15	40	Ft/km (>100 km)
		$C_{t,FTL,2,S,i,b}$	időarányos fajlagos költség	1500	2500	Ft/óra			

A bevásárlóközponti beszállítói udvarokban fellépő költségek	rakodás	$C_{fel3.R.i.c}$	fajlagos felrakodási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
		$C_{le3.R.i.c}$	fajlagos lerakodási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
	tárolás	$C_{be3.T.i.c}$	fajlagos betárolási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
		$C_{ki3.T.i.c}$	fajlagos kitárolási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
		$C_{\lambda3.T.i.c}$	fajlagos készletértéktartási költség	-	-	Ft/t/nap	$\lambda=$	10	%/év
		$C_{t3.T.i.c}$	fajlagos tárolási költsége	4000	8000	Ft/t/hónap			
	intralogisztikai operáció	$C_{3.I(kézi).i.c}$	kézi tárolótéri anyagmozgatás fajlagos ktg-e	800	1000	Ft/óra			
		$C_{3.I(qépi).i.c}$	gépi tárolótéri anyagmozgatás fajlagos ktg-e	900	1200	Ft/óra			
	adminisztráció	$C_{3.A.i.c}$	fajlagos adminisztrációs költsége	50	100	Ft/tranzakció			
Anyag- mozgatási útvonalakon fellépő költségek	intralogisztikai operáció	$C_{4.I(kézi).i.d}$	kézi anyagmozgatás fajlagos költsége	1000	2000	Ft/t			
		$C_{4.I(qépi).i.e}$	gépi anyagmozgatás fajlagos költsége	200	500	Ft/t			
Az üzletekben fellépő költségek	tárolás	$C_{be5.T.i.e}$	fajlagos betárolási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
		$C_{ki5.T.i.e}$	fajlagos kitárolási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
		$C_{\lambda5.T.i.e}$	fajlagos készletértéktartási költség	-	-	Ft/t/nap	$\lambda=$	10	%/év
		$C_{t5.T.i.e}$	fajlagos tárolási költsége	5000	10000	Ft/t/hónap			
		$C_{mr5.T.i.e}$	fajlagos megrendelési költség	200	500	Ft/tranzakció			
	intralogisztikai operáció	$C_{5.I(kézi).i.a}$	kézi tárolótéri anyagmozgatás fajlagos ktg-e	800	1000	Ft/óra			
		$C_{5.I(qépi).i.a}$	gépi tárolótéri anyagmozgatás fajlagos ktg-e	900	1200	Ft/óra			
		$C_{5.I(kom).i.a}$	kommissiózás fajlagos költsége	900	1200	Ft/óra			
	adminisztrációs	$C_{5.A.i.e}$	vállalat fajlagos adminisztrációs költsége	50	100	Ft/tranzakció			

3.2. Fajlagos költségek az új rendszerben

		Jelölés	Megnevezés	Min	Max	Dimenzió	-tól	-ig	Dimenzió
A beszállítók telephelyein fellépő költségek	rakodás	$C_{felI.R.i.a}$	fajlagos felrakodási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
		$C_{leI.R.i.a}$	fajlagos lerakodási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
	tárolás	$C_{beI.T.i.a}$	fajlagos betárolási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
		$C_{kiI.T.i.a}$	fajlagos kitárolási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
		$C_{\lambda I.T.i.a}$	fajlagos készlettartási költség	-	-	Ft/t/nap	$\lambda=$	10	%/év
		$C_{tI.T.i.a}$	fajlagos tárolási költsége	4000	8000	Ft/t/hónap			
		$C_{mrI.T.i.a}$	fajlagos megrendelési költség	200	500	Ft/tranzakció			
		$C_{LI(kézi),i,a}$	kézi tárolótéri anyagmozgatás fajlagos ktg	800	1000	Ft/óra			
	intralogisztikai operáció	$C_{LI(gépi),i,a}$	gépi tárolótéri anyagmozgatás fajlagos ktg	900	1200	Ft/óra			
		$C_{LI(kom),i,a}$	kommissiózás fajlagos költsége	900	1200	Ft/óra			
		$C_{IA,i,a}$	fajlagos adminisztrációs költsége	50	100	Ft/tranzakció			
A beszállítási útvonalakon fellépő költségek	LTL szállítás	$C_{LTL,KiII.S.i.b}$	kiállítás fajlagos költsége	4000	5000	Ft/kiállítás			
		$C_{LTL,RII.S.i.b}$	rakott menet fajlagos költsége	50	100	Ft/km (<100 km)	20	50	Ft/km (>100 km)
		$C_{LTL,ÜRII.S.i.b}$	üres menet fajlagos költsége	30	60	Ft/km (<100 km)	10	30	Ft/km (>100 km)
		$C_{LTL,invII.S.i.d}$	inverz anyagáram fajlagos költsége	40	80	Ft/km (<100 km)	15	40	Ft/km (>100 km)
		$C_{t,LTLII.S.i.b}$	időarányos fajlagos költség	1500	2500	Ft/óra			
	FTL szállítás	$C_{FTL,KiII.S.i.b}$	kiállítás fajlagos költsége	4000	5000	Ft/kiállítás			
		$C_{FTL,RII.S.i.b}$	rakott menet fajlagos költsége	50	100	Ft/km (<100 km)	20	50	Ft/km (>100 km)
		$C_{FTL,ÜRII.S.i.b}$	üres menet fajlagos költsége	30	60	Ft/km (<100 km)	10	30	Ft/km (>100 km)
		$C_{FTL,invII.S.i.d}$	inverz anyagáram fajlagos költsége	40	80	Ft/km (<100 km)	15	40	Ft/km (>100 km)
		$C_{t,FTLII.S.i.b}$	időarányos fajlagos költség	1500	2500	Ft/óra			

A konszolidációs központban fellépő költségek	rakodás	$C_{felIII,R,i,c}$	fajlagos felrakodási költség	1200	1200	Ft/t (doboz)	275	275	Ft/t (raklap)
		$C_{leIII,R,i,c}$	fajlagos lerakodási költség	1200	1200	Ft/t (doboz)	275	275	Ft/t (raklap)
	tárolás	$C_{beIII,T,i,c}$	fajlagos betárolási költség	1200	1200	Ft/t (doboz)	275	275	Ft/t (raklap)
		$C_{kiIII,T,i,c}$	fajlagos kitárolási költség	1200	1200	Ft/t (doboz)	275	275	Ft/t (raklap)
		$C_{\lambda III,T,i,c}$	fajlagos készletértéktartási költség	-	-	Ft/t/nap	$\lambda =$	10	%/év
		$C_{tIII,T,i,c}$	fajlagos tárolási költsége	4500	4500	Ft/t/hónap			
		$C_{mrIII,T,i,c}$	fajlagos megrendelési költség	200	200	Ft/tranzakció			
	intralogisztikai operáció	$C_{III,I(kézi),i,c}$	kézi tárolótéri anyagmozgatás fajlagos ktg	800	800	Ft/óra			
		$C_{III,I(gépi),i,c}$	gépi tárolótéri anyagmozgatás fajlagos ktg	900	900	Ft/óra			
		$C_{III,I(kom),i,a}$	komissiózás fajlagos költsége	900	900	Ft/óra			
		$C_{III,I(konsz),i,a}$	konszolidáció fajlagos költsége	800	800	Ft/óra			
		$C_{III,A,i,c}$	fajlagos adminisztrációs költsége	75	75	Ft/tranzakció			

				Tehergépkocsival			Villamossal		
A beszállítási útvonalakon fellépő költségek	LTL szállítás	$C_{LTL,KiIV,S,i,d}$	kiállítás fajlagos költsége	4000	4000	Ft/kiállítás	6000	6000	Ft/kiállítás
		$C_{LTL,RiIV,S,i,d}$	rakott menet fajlagos költsége	50	50	Ft/km	40	40	Ft/km
		$C_{LTL,ÜRiIV,S,i,d}$	üres menet fajlagos költsége	30	30	Ft/km	40	40	Ft/km
		$C_{LTL,invIV,S,i,d}$	inverz anyagáram fajlagos költsége	40	40	Ft/km	40	40	Ft/km
		$C_{t,LTLIV,S,i,d}$	időarányos fajlagos költség	1500	1500	Ft/óra	2000	2000	Ft/óra
	FTL szállítás	$C_{FTL,KiIV,S,i,d}$	kiállítás fajlagos költsége	4000	4000	Ft/kiállítás	6000	6000	Ft/kiállítás
		$C_{FTL,RiIV,S,i,d}$	rakott menet fajlagos költsége	50	50	Ft/km	40	40	Ft/km
		$C_{FTL,ÜRiIV,S,i,d}$	üres menet fajlagos költsége	30	30	Ft/km	40	40	Ft/km
		$C_{FTL,invIV,S,i,d}$	inverz anyagáram fajlagos költsége	40	40	Ft/km	40	40	Ft/km
		$C_{t,FTLIV,S,i,d}$	időarányos fajlagos költség	1500	1500	Ft/óra	2000	2000	Ft/óra

A bevásárlóközponti beszállítói udvarokban fellépő költségek	rakodás	$C_{felV,R,i,e}$	fajlagos felrakodási költség	1200	1200	Ft/t (doboz)	275	275	Ft/t (raklap)
		$C_{levV,R,i,e}$	fajlagos lerakodási költség	1200	1200	Ft/t (doboz)	275	275	Ft/t (raklap)
	tárolás	$C_{bevT,i,e}$	fajlagos betárolási költség	1200	1200	Ft/t (doboz)	275	275	Ft/t (raklap)
		$C_{kiV,T,i,e}$	fajlagos kitárolási költség	1200	1200	Ft/t (doboz)	275	275	Ft/t (raklap)
		$C_{\lambda V,T,i,e}$	fajlagos készletértéktartási költséggel	-	-	Ft/t/nap	$\lambda=$	10	%/év
		$C_{tV,T,i,e}$	fajlagos tárolási költsége	4500	4500	Ft/t/hónap			
	intralogisztikai operáció	$C_{VI,I(kézi),i,e}$	kézi tárolótéri anyagmozgatás fajlagos ktg	900	900	Ft/óra			
		$C_{VI,I(gépi),i,e}$	gépi tárolótéri anyagmozgatás fajlagos ktg	1050	1050	Ft/óra			
	adminisztráció	$C_{VA,i,e}$	fajlagos adminisztrációs költsége	75	75	Ft/tranzakció			

Anyagmozgatási útvonalakon fellépő költségek	intralogisztikai operáció	$C_{VI,I(kézi),i,f}$	kézi anyagmozgatás fajlagos költsége	1200	1200	Ft/t
		$C_{VI,I(gépi),i,f}$	gépi anyagmozgatás fajlagos költsége	275	275	Ft/t

Az üzletekben fellépő költségek	tárolás	$C_{bevVII,T,i,q}$	fajlagos betárolási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
		$C_{kiVII,T,i,q}$	fajlagos kitárolási költség	1000	2000	Ft/t (doboz)	200	500	Ft/t (raklap)
		$C_{\lambda VII,T,i,q}$	fajlagos készletértéktartási költséggel	-	-	Ft/t/nap	$\lambda=$	10	%/év
		$C_{tVII,T,i,q}$	fajlagos tárolási költsége	5000	10000	Ft/t/hónap			
		$C_{mrVII,T,i,q}$	fajlagos megrendelési költség	200	500	Ft/tranzakció			
	intralogisztikai operáció	$C_{VII,I(kézi),i,q}$	kézi tárolótéri anyagmozgatás fajlagos ktg	800	1000	Ft/óra			
		$C_{VII,I(gépi),i,q}$	gépi tárolótéri anyagmozgatás fajlagos ktg	900	1200	Ft/óra			
		$C_{VII,I(kom),i,q}$	komissiózás fajlagos költsége	900	1200	Ft/óra			
	adminisztrációs	$C_{VII,A,i,q}$	vállalat fajlagos adminisztrációs költsége	50	100	Ft/tranzakció			

4. Az AnyLogic-kal végzett szimuláció során kapott eredmények

Jelenlegi rendszer	Átlag	Szórás	Minimum	Maximum
Tranzakciók száma	487,3	0,7	486,0	488,0
Megtett út [km] (SUP->SM)	43449,2	5692,0	37709,7	55752,4
Megtett út [km] (SM->SUP)	43449,2	5692,0	37709,7	55752,4
Árumennyiség [kg]	130,1	0,7	129,3	130,6
Göngyölegmennyiség [t]	5,2	0,2	4,9	5,4
Szállítási teljesítmény [t*km]	12085,3	1686,2	9903,3	14471,5
Benzin-fogyasztás [l]	174,8	49,0	99,1	225,8
Gázolaj-fogyasztás [l]	2841,9	418,8	2439,0	3783,1
CO [kg]	0,4	0,0	0,3	0,5
CO2 [kg]	78,2	10,2	67,9	100,4
HC [kg]	0,0	0,0	0,0	0,0
NOx [kg]	0,2	0,0	0,1	0,2
PM [kg]	0,0	0,0	0,0	0,0

Új rendszer (Beszállítók->CC)	Átlag	Szórás	Minimum	Maximum
Tranzakciók száma	242,0	0,0	242,0	242,0
Megtett út [km] (SUP->CC)	23768,2	2701,4	20308,9	28428,5
Megtett út [km] (CC->SUP)	23768,2	2701,4	20308,9	28428,5
Árumennyiség [kg]	134,9	0,0	134,9	134,9
Göngyölegmennyiség [t]	2,9	0,1	2,8	3,1
Szállítási teljesítmény [t*km]	16366,7	3771,5	12421,9	23402,4
Benzin-fogyasztás [l]	142,9	36,5	93,4	218,0
Gázolaj-fogyasztás [l]	1471,5	216,8	1238,8	1853,3
CO [kg]	0,2	0,0	0,2	0,2
CO2 [kg]	42,8	4,9	36,6	51,2
HC [kg]	0,0	0,0	0,0	0,0
NOx [kg]	0,1	0,0	0,1	0,1
PM [kg]	0,0	0,0	0,0	0,0

Új rendszer (CC-Koncentrált halmaz)	Átlag	Szórás	Minimum	Maximum
Tranzakciók száma	23,0	0,0	23,0	23,0
Megtett út [km] (SUP->CC)	205,1	0,0	205,1	205,1
Megtett út [km] (CC->SUP)	205,1	0,0	205,1	205,1
Árumennyiség [kg]	128,1	0,0	128,1	128,1
Göngyölegmennyiség [t]	5,2	0,0	5,2	5,2
Szállítási teljesítmény [t*km]	1188,8	0,0	1188,8	1188,8
Benzin-fogyasztás [l]	0,0	0,0	0,0	0,0
Gázolaj-fogyasztás [l]	15,6	0,0	15,6	15,6
CO [kg]	0,0	0,0	0,0	0,0
CO2 [kg]	0,4	0,0	0,4	0,4
HC [kg]	0,0	0,0	0,0	0,0
NOx [kg]	0,0	0,0	0,0	0,0
PM [kg]	0,0	0,0	0,0	0,0

5. A göngyölegkezeléssel és üresjáratokkal kapcsolatos eredmények az MS Excel használatával végzett szimulációs futtatások alapján

Göngyölegkezelés és üresjáratok a jelenlegi rendszerben	Min	Max	Átlag	Szórás
Összes tömeg [t]	43,9	45,7	44,8	0,4
Göngyölegkezelési tranzakciók száma	680,0	716,0	696,0	7,5
Szállítási teljesítmény [t*km]	3014,2	8534,3	5882,6	1369,1
Menetteljesítmény (városon belül) [km]	49476,0	54161,0	51284,8	999,7
Menetteljesítmény (városon kívül) [km]	196678,0	297437,0	240739,8	19738,2
Benzin-fogyasztás [l]	622,0	1369,7	923,7	158,4
Gázolaj-fogyasztás [l]	14795,6	21238,6	17541,7	1284,7
CO kibocsátás [kg]	13,6	18,8	15,9	1,1
CO₂ kibocsátás [kg]	2794,5	3936,3	3279,4	231,3
HC kibocsátás [kg]	0,9	1,3	1,1	0,1
NO_x kibocsátás [kg]	5,7	8,1	6,7	0,5
PM kibocsátás [kg]	0,6	0,9	0,7	0,0

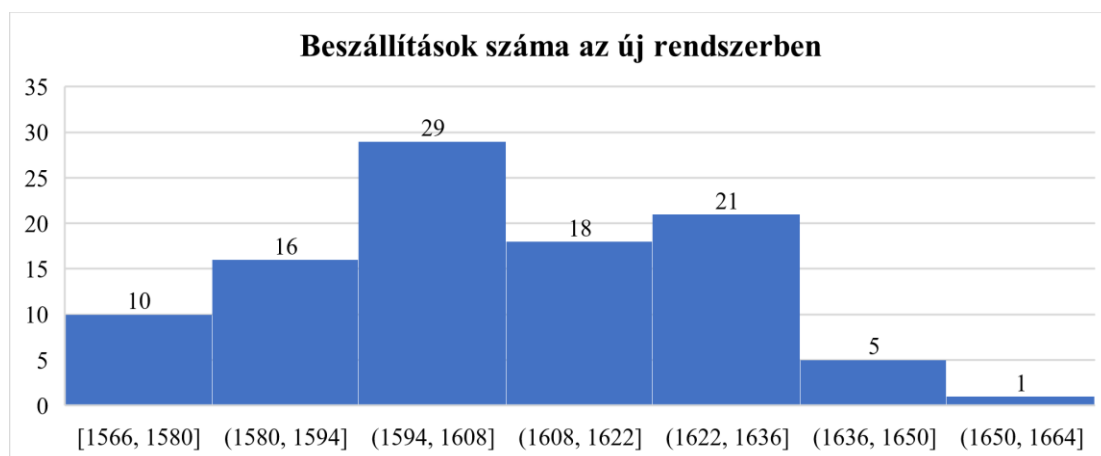
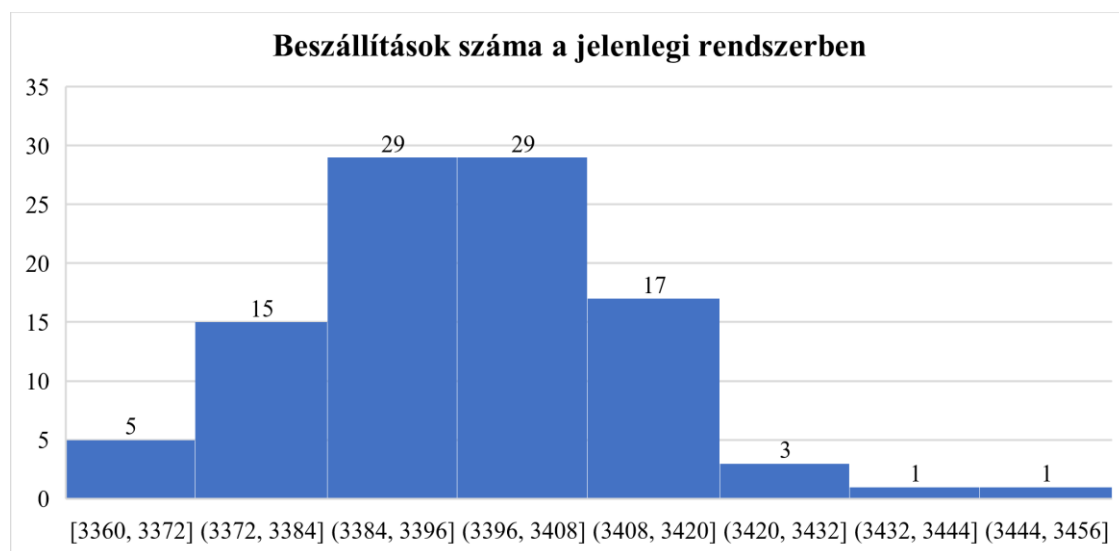
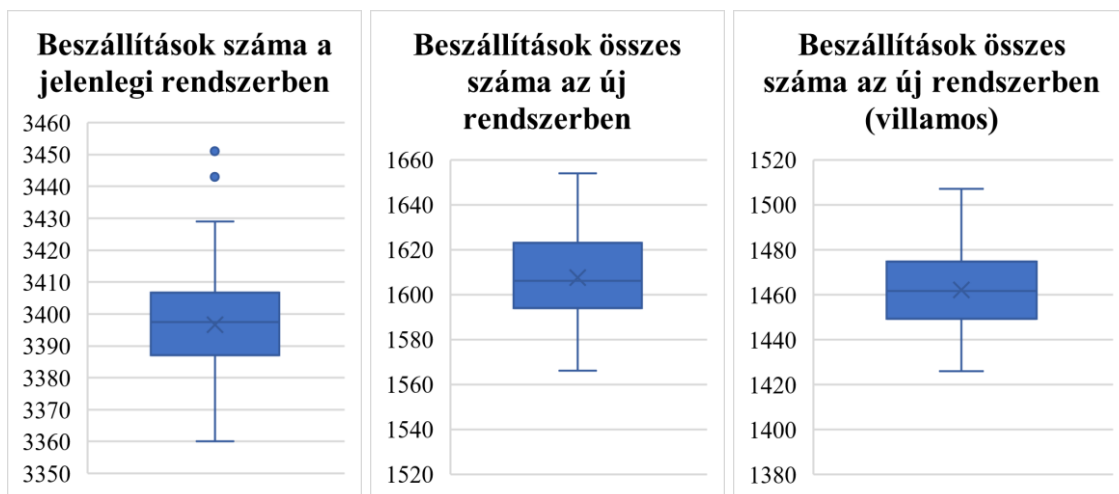
Göngyölegkezelés és üresjáratok az új rendszerben (CC-Beszállítók)	Min	Max	Átlag	Szórás
Összes tömeg [t]	36,9	47,5	43,9	2,7
Göngyölegkezelési tranzakciók száma	209,0	245,0	227,3	8,1
Szállítási teljesítmény (városon kívül) [t*km]	3079,9	9397,1	5992,0	1462,7
Menetteljesítmény (városon kívül) [km]	115156,0	145263,0	130213,1	6285,0
Benzin-fogyasztás [l]	513,8	1246,5	864,6	135,7
Gázolaj-fogyasztás [l]	6558,6	8275,4	7368,0	376,0
CO kibocsátás [kg]	6,4	8,4	7,5	0,4
CO₂ kibocsátás [kg]	1285,0	1614,7	1440,4	69,3
HC kibocsátás [kg]	0,4	0,6	0,5	0,0
NO_x kibocsátás [kg]	2,6	3,2	2,9	0,1
PM kibocsátás [kg]	0,3	0,4	0,3	0,0

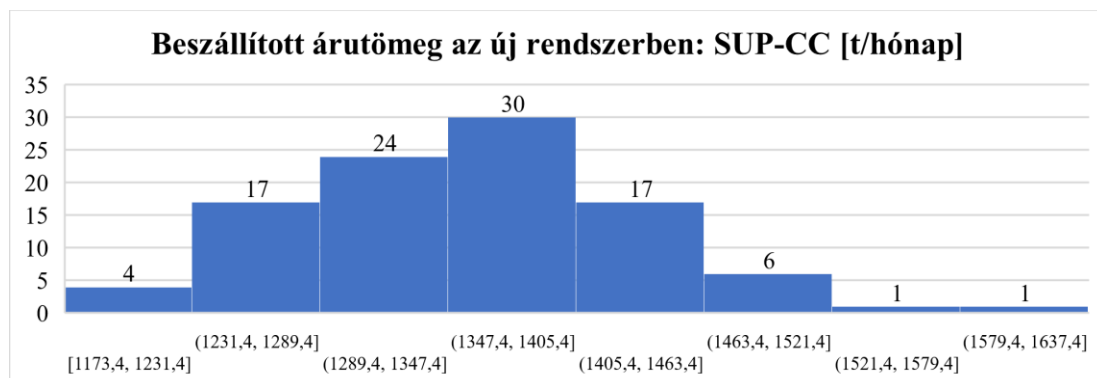
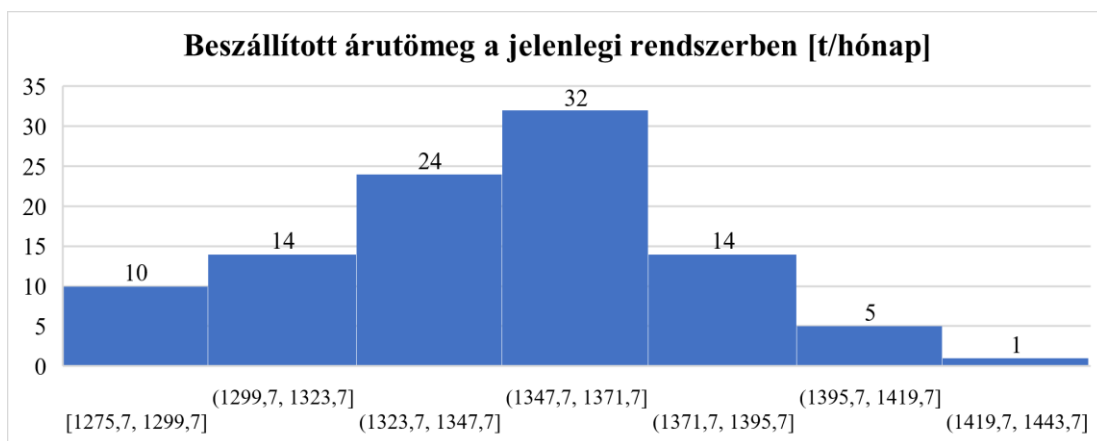
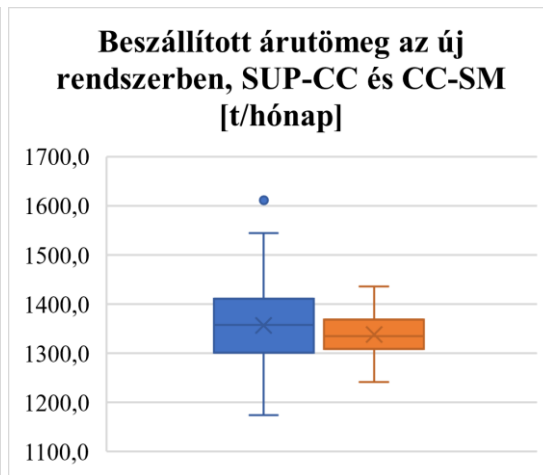
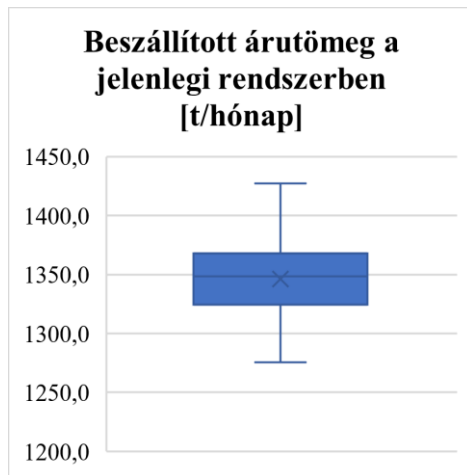
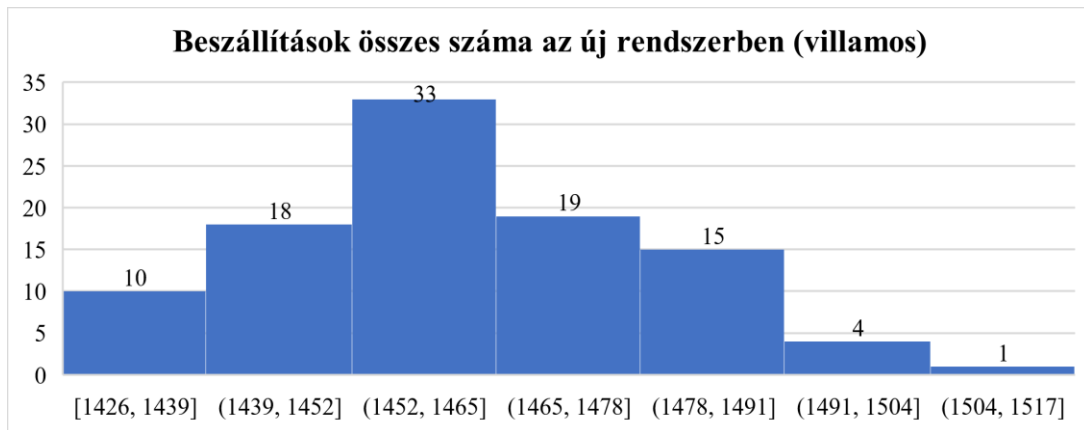
Göngyölegkezelés és üresjáratok az új rendszerben (Koncentrált igénypontok-CC)	Min	Max	Átlag	Szórás
Összes tömeg [t]	41,9	49,9	47,4	1,6
Göngyölegkezelési feladatok száma (mindkét esetben)	255,0	283,0	268,7	6,0
Szállítási teljesítmény (városon belül, tehergépkocsik esetén) [t*km]	2773,9	3091,6	2923,8	69,1
Szállítási teljesítmény (városon belül, közúti vasút esetén) [t*km]	1831,5	2061,0	1949,4	44,6
Menetteljesítmény (városon belül, tehergépkocsik esetén) [km]	2788,4	3108,9	2940,1	69,5
Menetteljesítmény (városon belül, közúti vasút esetén) [km]	628,1	746,2	711,9	24,2
Benzin-fogyasztás (tehergépkocsik esetén) [l]	0,0	0,0	0,0	
Gázolaj-fogyasztás (tehergépkocsik esetén) [l]	211,9	236,3	223,5	5,3
Áramfogyasztás (villamos esetén) [kWh]	1554248,3	2014573,1	1813556,0	92115,5
CO kibocsátás (tehergépkocsik esetén) [kg]	0,3	0,4	0,4	0,0
CO₂ kibocsátás (tehergépkocsik esetén) [kg]	76,1	84,8	80,2	1,9
HC kibocsátás (tehergépkocsik esetén) [kg]	0,0	0,0	0,0	0,0
NO_x kibocsátás (tehergépkocsik esetén) [kg]	0,2	0,2	0,2	0,0
PM kibocsátás (tehergépkocsik esetén) [kg]	0,0	0,0	0,0	0,0

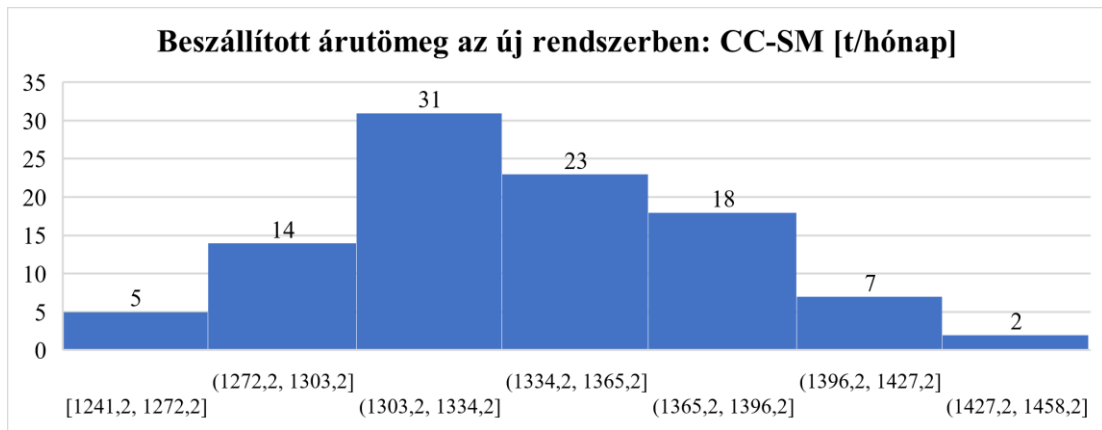
6. A legfontosabb fizikai és költségparaméterek eloszlásai

A kísérletek száma minden esetben N=100.

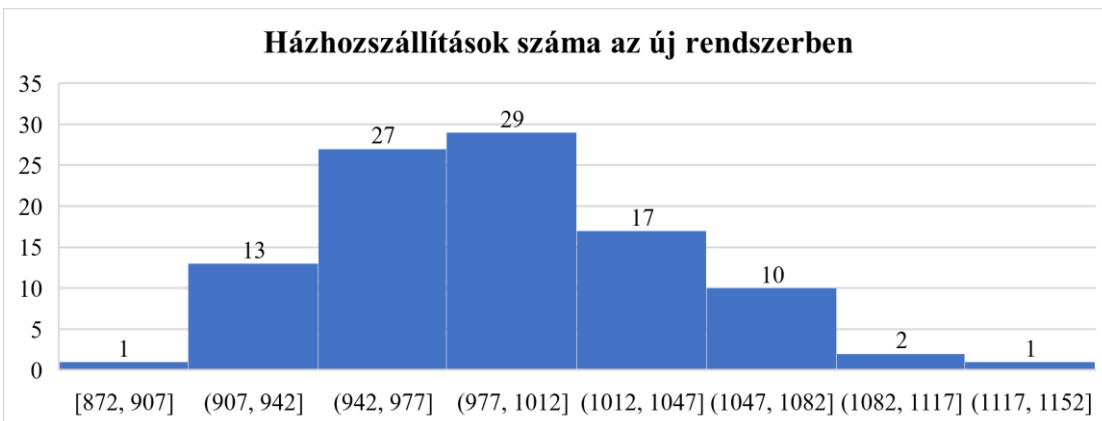
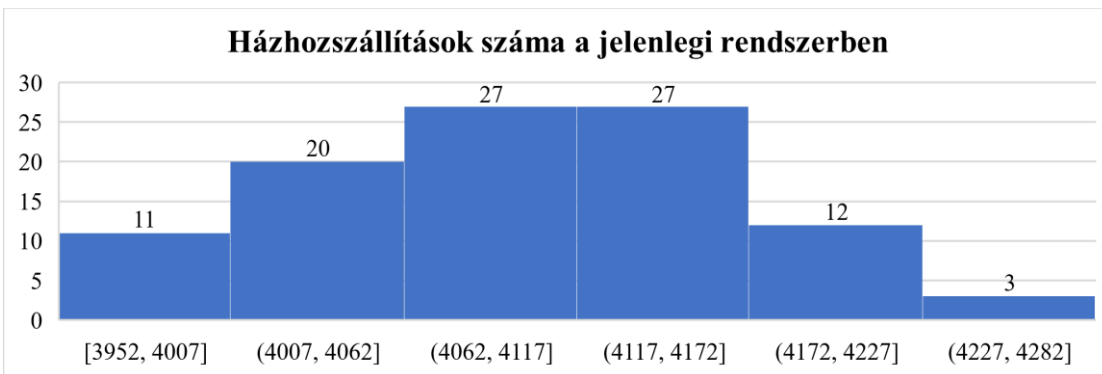
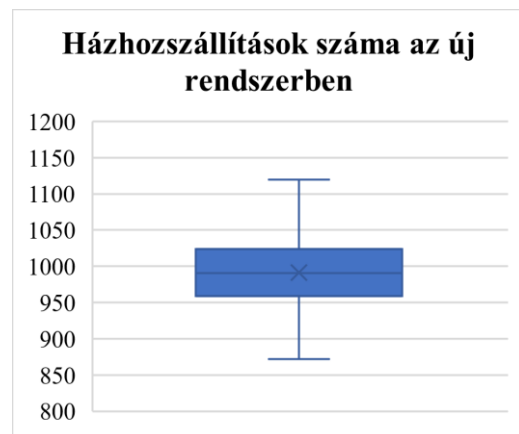
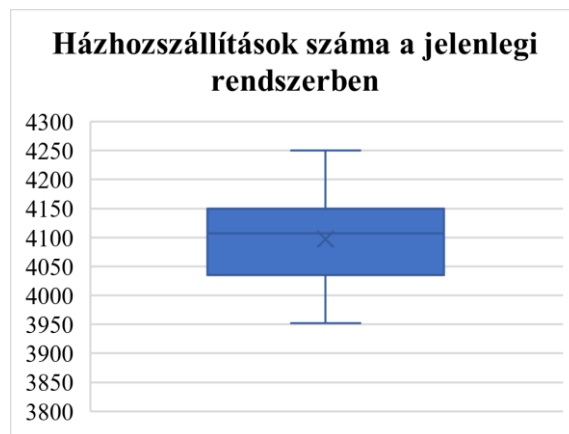
6.1. Tranzakciók száma és beszállított árumennyiség eloszlása

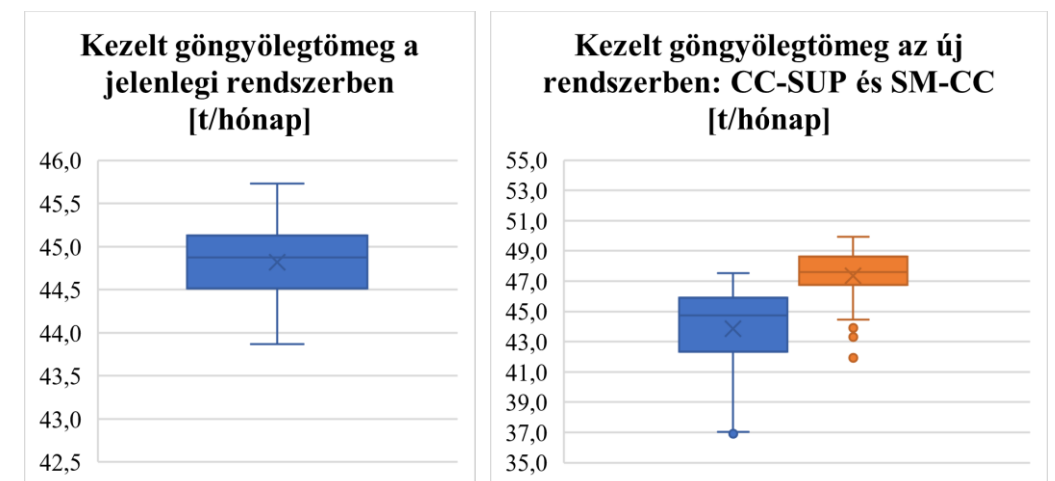
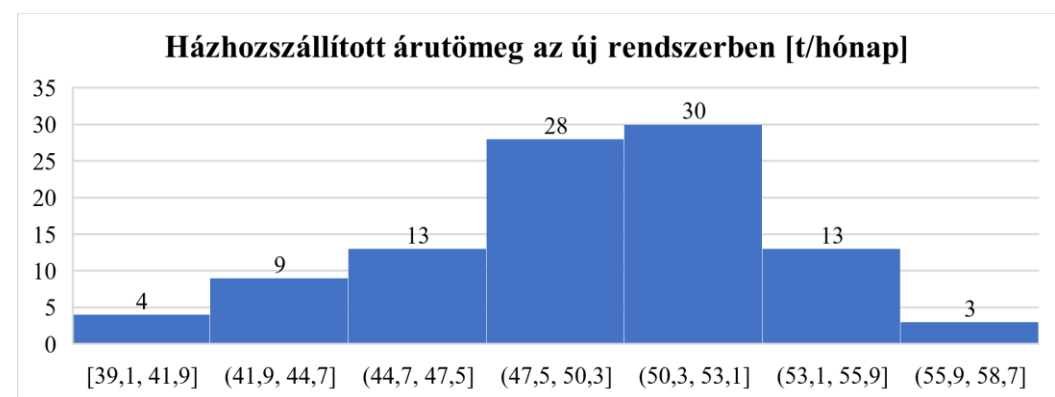
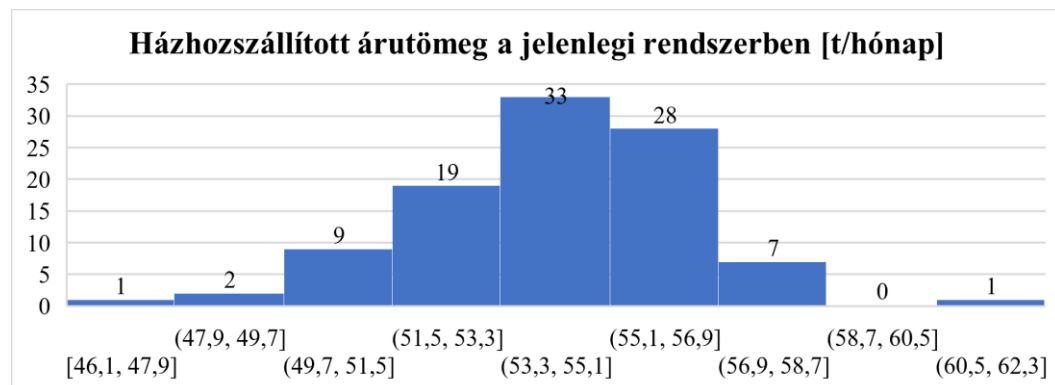
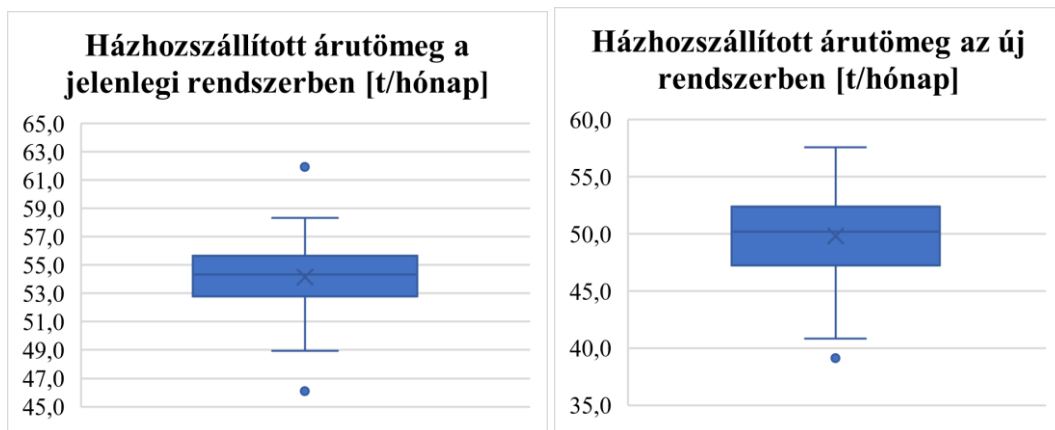


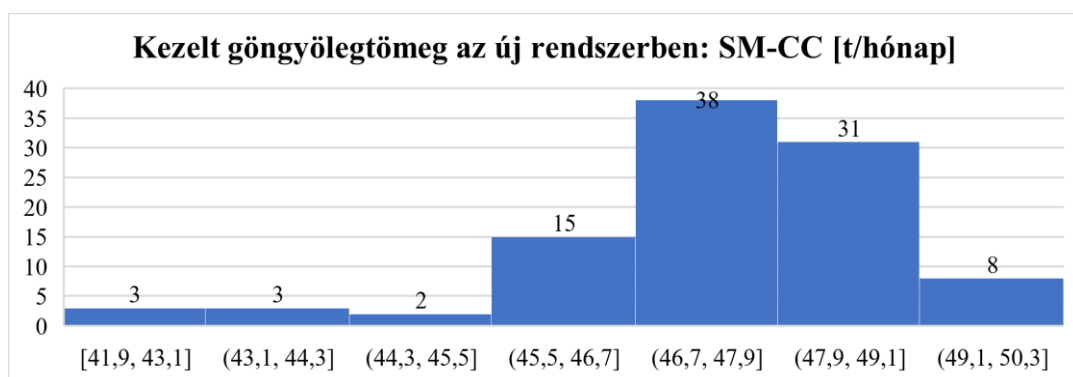
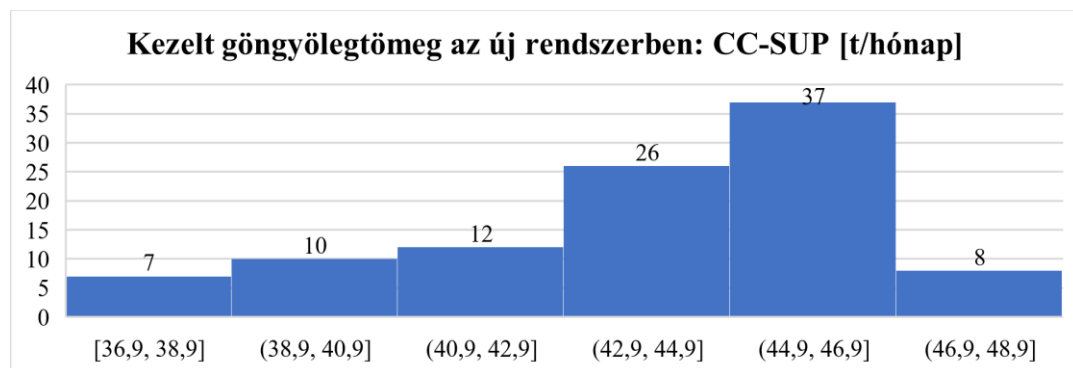
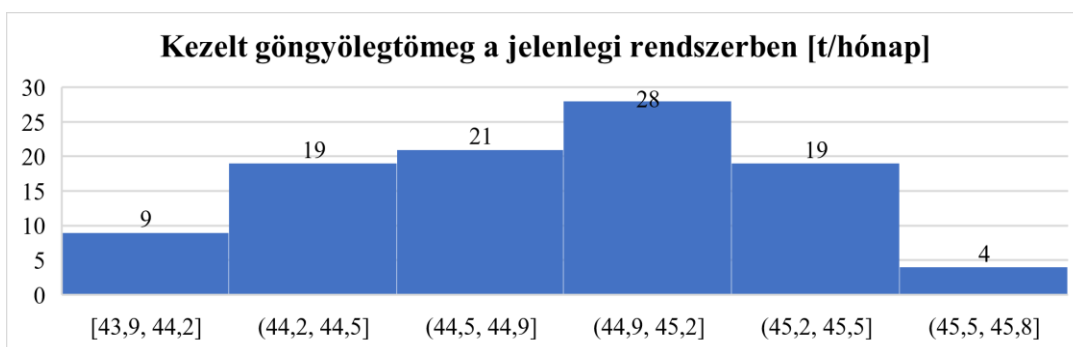




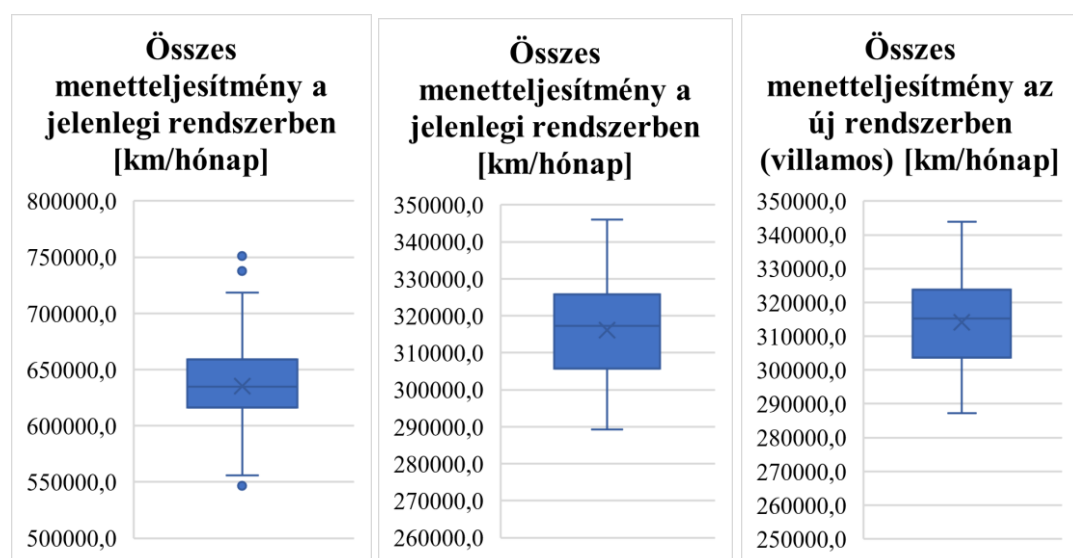
6.2. Házhozszállítások és göngyölegkezelés paramétereinek eloszlása

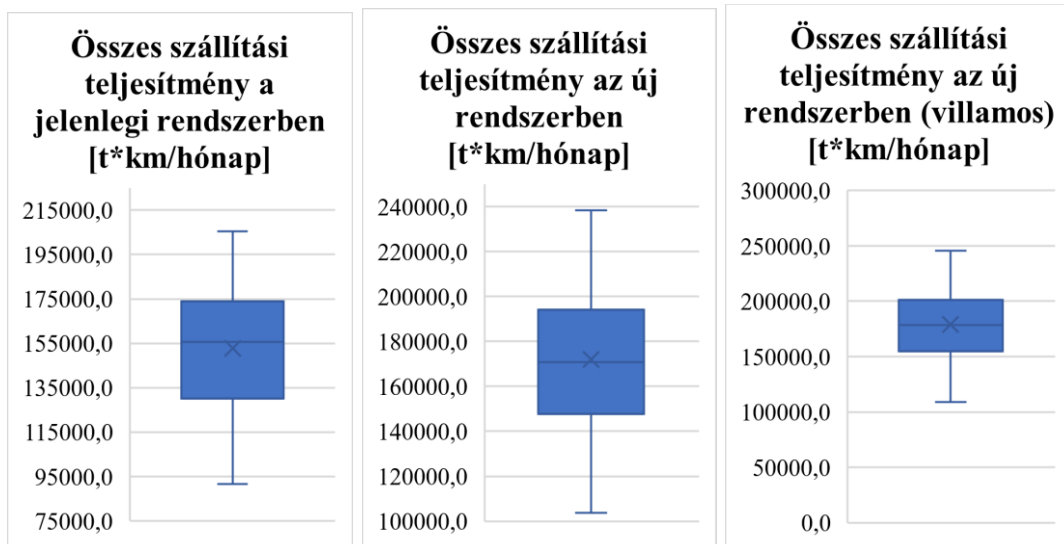
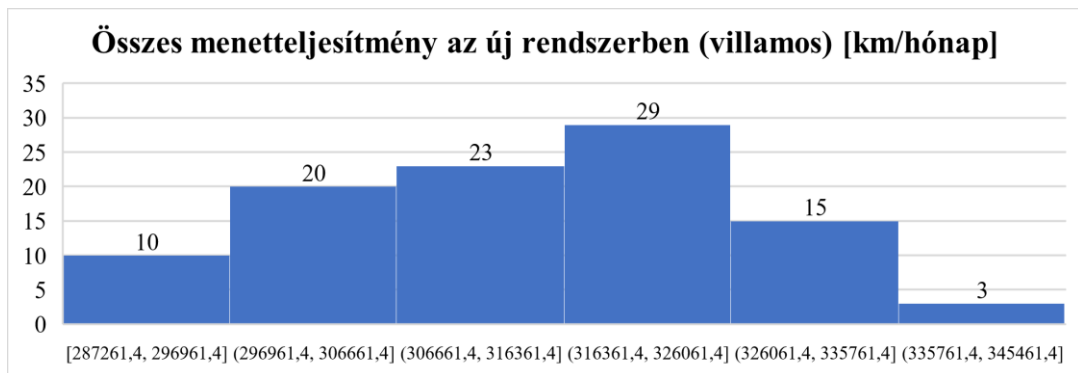
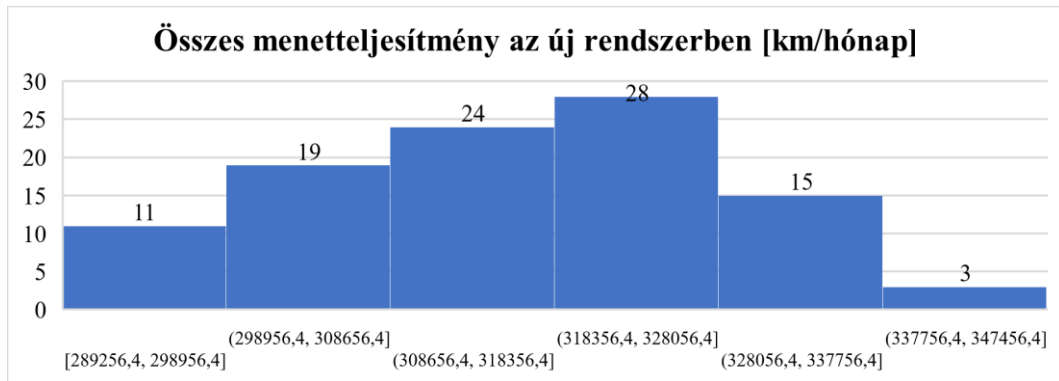
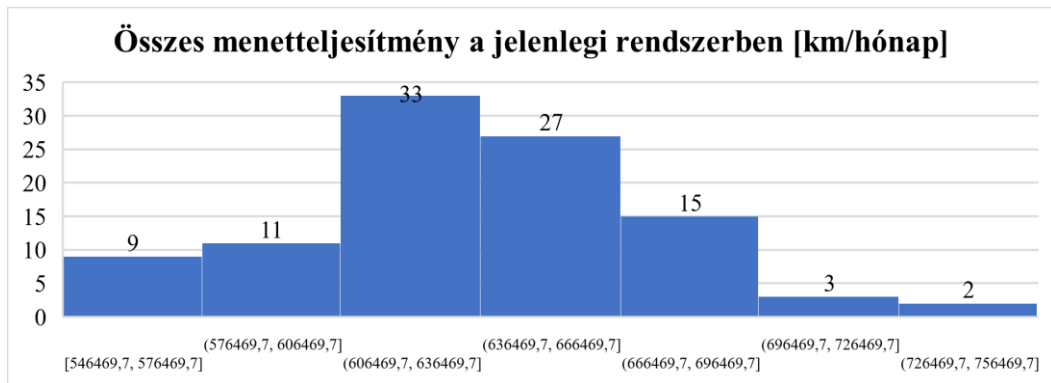


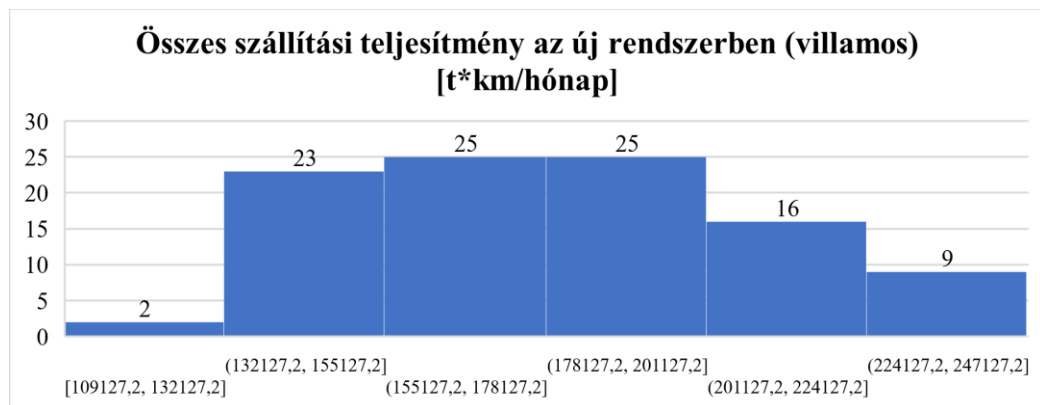
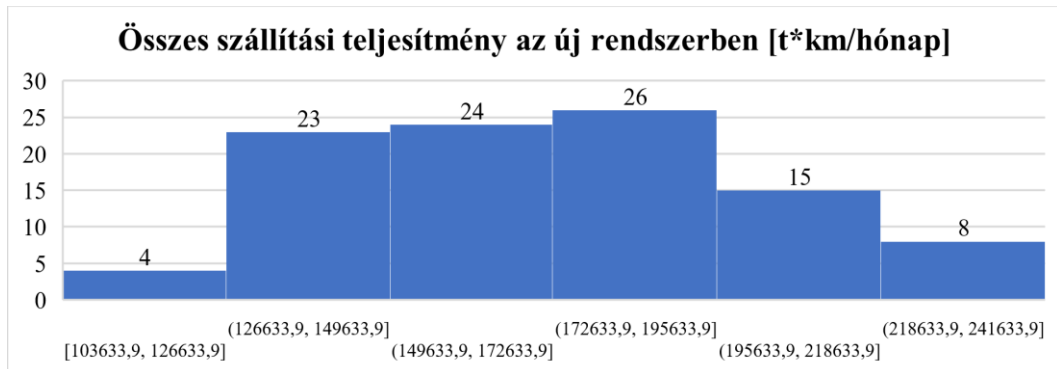
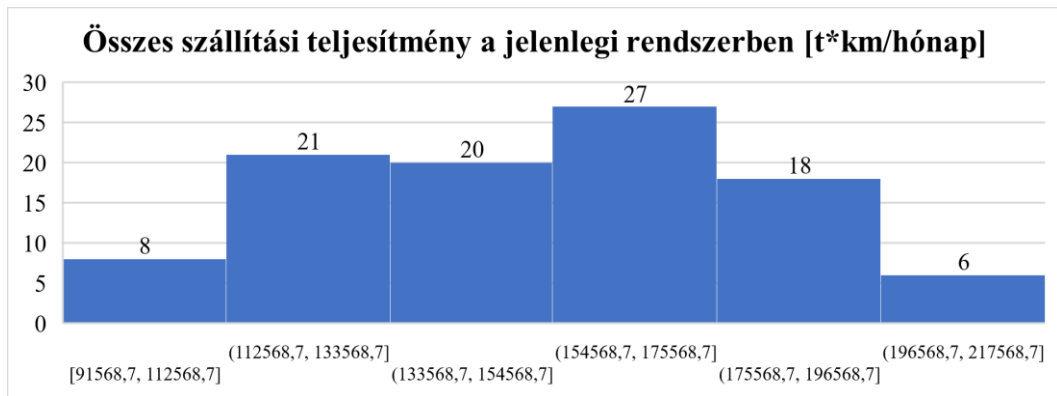




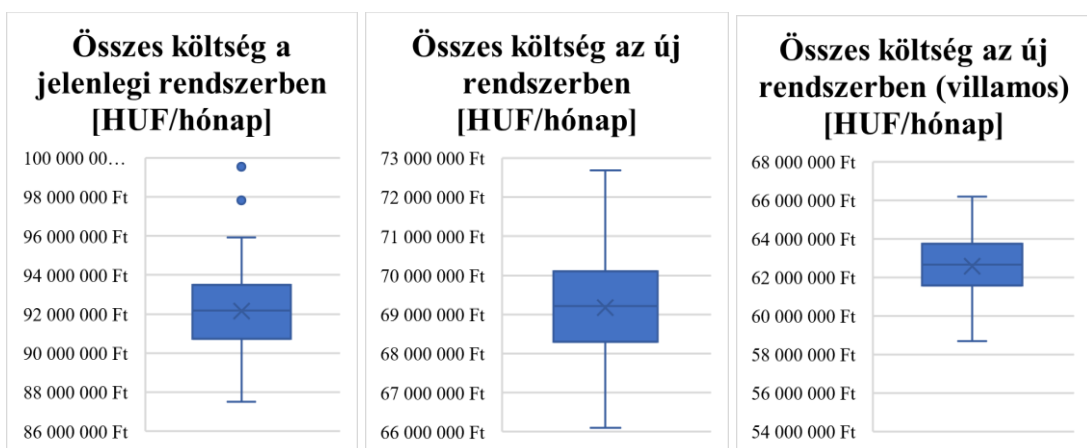
6.3. Menetteljesítmény és szállítási teljesítmény eloszlása

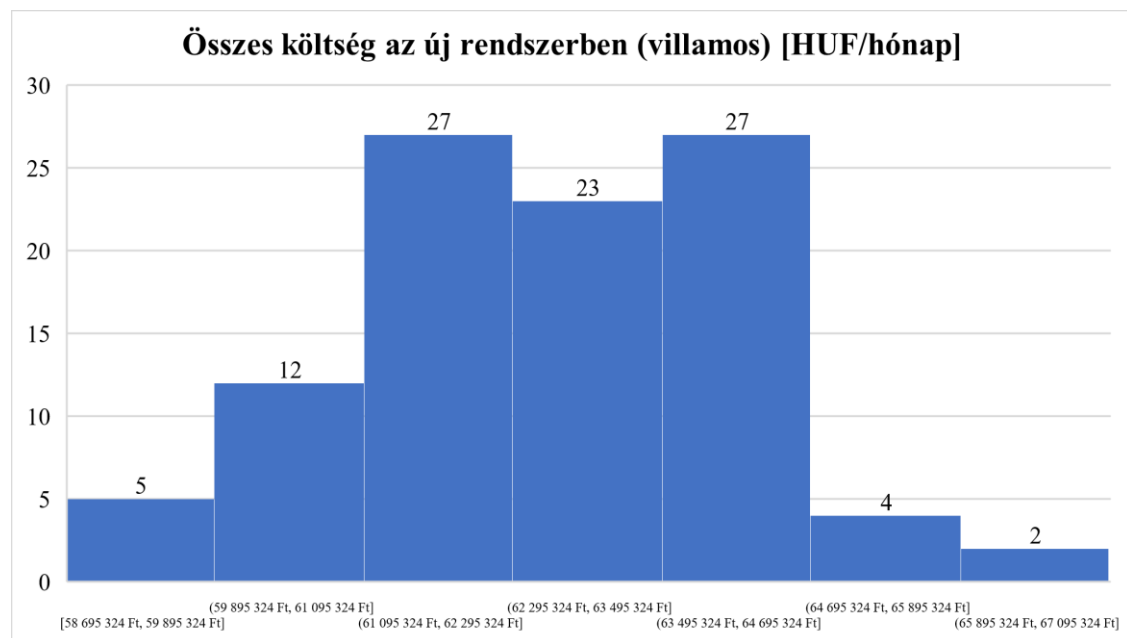
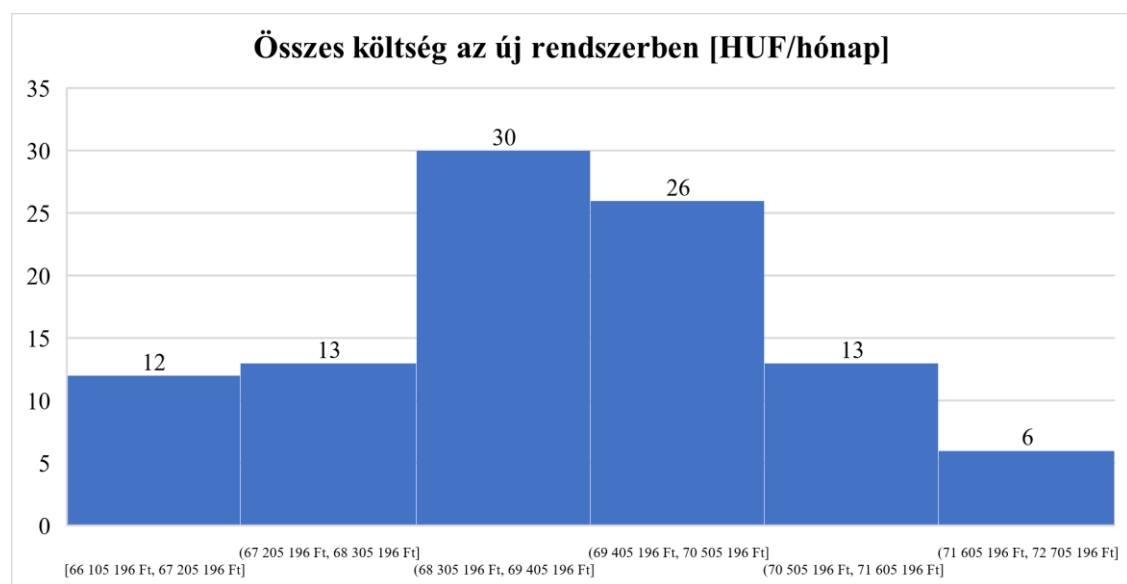
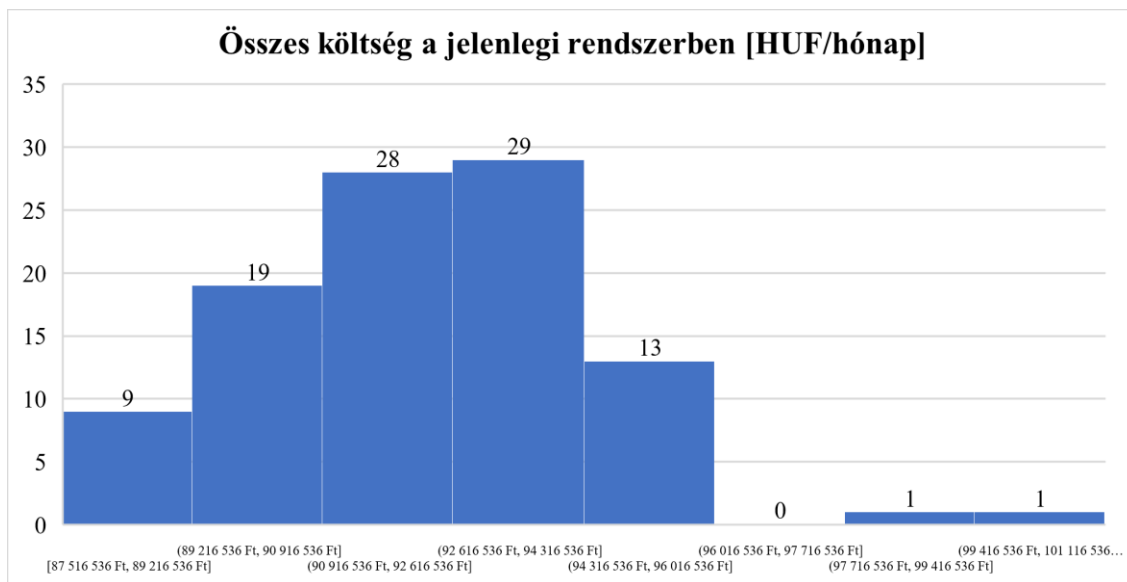






6.4. Összes költség eloszlása





7. A menetteljesítmény és az összes költség változása bizonyos paraméterek növelése esetén

A vizsgált scenáriók az alábbiak:

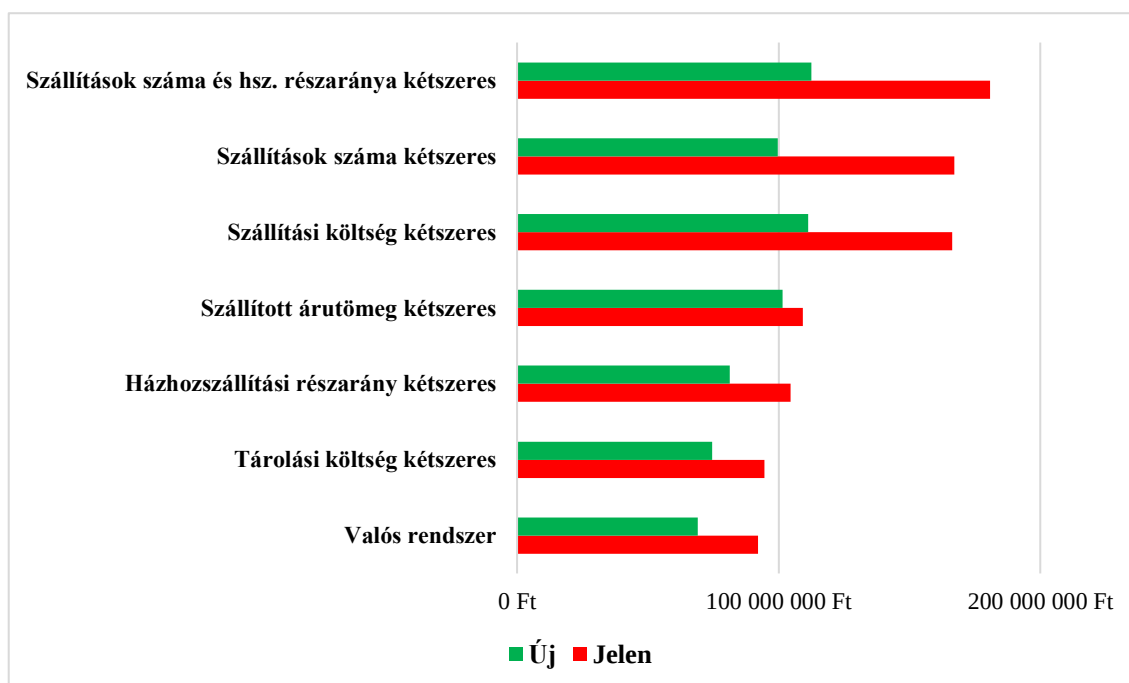
- valós rendszer modellje, az ezzel kapcsolatos eredményeket mutattuk be az előbbieken;
- a beszállított árutömeg kétszeresére növekszik, a beszállítások tranzakciók száma alapvetően nem változik, csak ott, ahol a kapacitás azt megkívánja, a többi esetben a kapacitások jobb kihasználása is megvalósul;
- a beszállítások száma kétszeresére növekszik, ezáltal kétszeresére növekszik az összes beszállított árumennyiség is (ez és az előbbi eset a vevői igények kétszeresére növekedésének két megoldása);
- a házhozszállítás részaránya kétszeresére növekszik azon üzleteknél, ahol eddig is volt házhozszállítás, ahol pedig nem volt házhozszállítás, ott 50%-os valószínűséggel megjelennek új házhozszállítási tranzakciók, a jelenlegi házhozszállítási részarány várható értékének megfelelően (ehhez hasonló scenárió várható a webkereskedelmi trendek alakulása miatt [39]);
- a beszállítások száma kétszeresére növekszik, ezáltal kétszeresére növekszik az összes beszállított árumennyiség is, valamint a házhozszállítás részaránya kétszeresére növekszik azon üzleteknél, ahol eddig is volt házhozszállítás, ahol pedig nem volt házhozszállítás, ott 50%-os valószínűséggel megjelennek új házhozszállítási tranzakciók, a jelenlegi házhozszállítási részarány várható értékének megfelelően;
- a fajlagos szállítási költség kétszeresére növekszik, ilyen helyzet állhat elő az üzemanyagárak növekedésével;
- a fajlagos tárolási költség kétszeresére növekszik, ilyen helyzet állhat elő a fenntartási költségek (fűtés, világítás stb. költségei) növekedésével.

		Beszállítások száma	Beszállított árutömeg [kg]	Házhoz- szállítások száma	Menet- teljesítmény [km]	Szállítási teljesítmény [t*km]
Valós rendszer	Jelen	3396,7	1346124,2	4097,0	635385,0	152851,7
	Új	1607,6	1347167,6	991,3	316109,0	174983,4
Szállított árutömeg kétszeres	Jelen	3395,5	3065831,8	4094,9	640918,4	315187,5
	Új	1839,6	3079640,8	980,3	323475,4	359572,7
Szállítások száma kétszeres	Jelen	6646,1	2679415,1	4081,9	1194059,5	306153,6
	Új	2025,2	2730830,8	981,6	367906,1	346306,9
Házhozszállított mennyiség kétszeres és új házhozszállítások	Jelen	3398,7	1346185,0	7795,7	690588,2	153471,1
	Új	1614,3	1303582,6	2564,0	392297,4	172973,9
Szállítások száma kétszeres és házhozszállított mennyiség kétszeres	Jelen	6650,9	2682680,5	7918,3	1262219,4	307190,1
	Új	2037,3	2657744,2	2689,1	449646,8	337590,8
Szállítási költség kétszeres	Jelen	3396,3	1350833,3	4096,0	643020,3	159737,8
	Új	1612,2	1347779,2	986,5	319842,6	173616,7
Tárolási költség kétszeres	Jelen	3394,8	1339426,3	4100,8	635896,4	154921,3
	Új	1612,3	1336587,7	992,8	318140,9	165004,3

1. táblázat: Kezelt árumennyiség és teljesítmények alakulása a vizsgált esetekben

		CO [kg]	CO ₂ [kg]	HC [kg]	NO _x [kg]	PM [kg]
Valós rendszer	Jelen	35,7	7119,0	2,5	14,3	1,6
	Új	17,5	3453,5	1,2	6,9	0,8
Szállított árutömeg kétszeres	Jelen	36,0	7184,9	2,5	14,5	1,6
	Új	18,3	3618,9	1,3	7,3	0,8
Szállítások száma kétszeres	Jelen	66,5	13433,2	4,7	27,2	3,0
	Új	20,9	4105,8	1,5	8,2	1,0
Házhozszállított mennyiség kétszeres és új házhozszállítások	Jelen	39,9	7739,4	2,9	15,4	1,8
	Új	20,5	4093,6	1,4	8,2	0,9
Szállítások száma kétszeres és házhozszállított mennyiség kétszeres	Jelen	71,3	14175,9	5,0	28,5	3,3
	Új	24,0	4791,0	1,7	9,6	1,1
Szállítási költség kétszeres	Jelen	36,2	7223,8	2,6	14,5	1,7
	Új	17,7	3495,6	1,3	7,0	0,8
Tárolási költség kétszeres	Jelen	35,7	7129,5	2,5	14,4	1,6
	Új	17,6	3474,5	1,2	7,0	0,8

2. táblázat: Kibocsátási paraméterek alakulása a vizsgált esetekben



1. ábra: Költségek alakulása a vizsgált esetekben

A következő vizsgálat során az alábbi módon változtattam az értékeket:

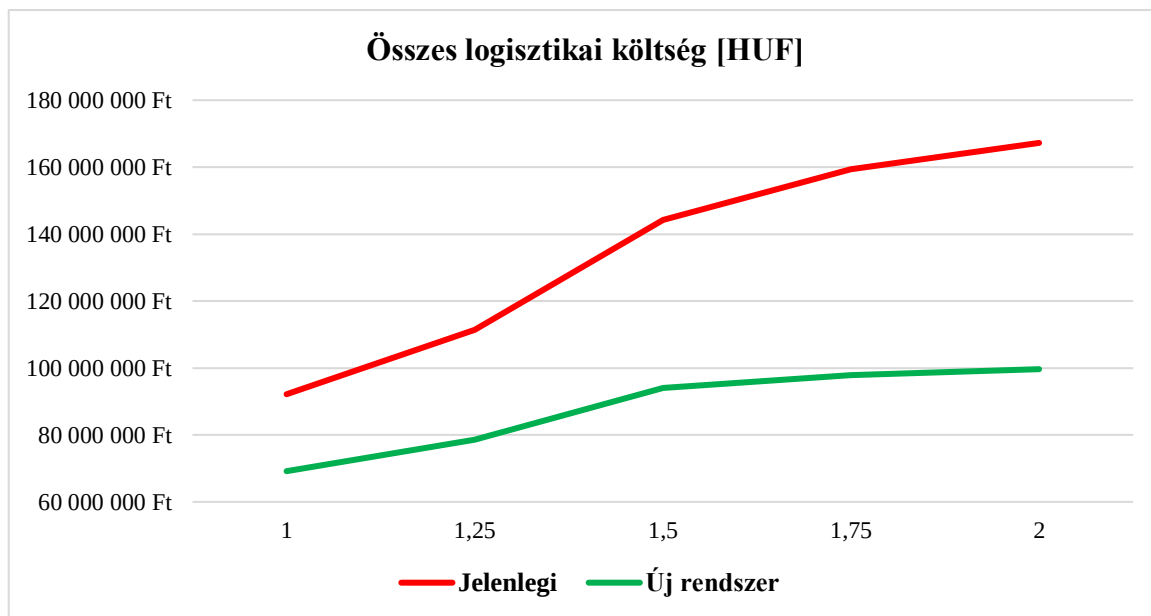
- a beszállítások száma 1,25-szörösére, 1,5-szörösére, 1,75-szörösére, majd 2-szeresére növekszik, ezáltal növekszik az összes beszállított árumennyiség is;
- a házhozszállítás részaránya 1,25-szörösére, 1,5-szörösére, 1,75-szörösére, majd 2-szeresére növekszik azon üzleteknél, ahol eddig is volt házhozszállítás, ahol pedig nem volt házhozszállítás, ott 12,5%-os, 25%-os, 37,5%-os, majd 50%-os valószínűséggel megjelennek új házhozszállítási tranzakciók, a jelenlegi házhozszállítási részarány várható értékének megfelelően;
- a fajlagos szállítási költség 1,25-szörösére, 1,5-szörösére, 1,75-szörösére, majd 2-szeresére növekszik.

Összes menetteljesítmény	Jelenlegi	Új rendszer	Csökkenés	Δ
1	635385,0	316109,0	50,2%	-
1,25	780313,8	327628,3	58,0%	7,8%
1,5	1019696,1	365508,6	64,2%	6,1%
1,75	1149088,9	372155,3	67,6%	3,5%
2	1194059,5	367906,1	69,2%	1,6%

3. táblázat: Az összes menetteljesítmény változása a beszállítások számának növekedése esetén

Összes költség	Jelenlegi	Új rendszer	Csökkenés	Δ
1	92 157 737 Ft	69 168 923 Ft	24,9%	-
1,25	111 382 504 Ft	78 542 324 Ft	29,5%	4,5%
1,5	144 165 460 Ft	93 973 463 Ft	34,8%	5,3%
1,75	159 364 413 Ft	97 783 370 Ft	38,6%	3,8%
2	167 238 242 Ft	99 649 279 Ft	40,4%	1,8%

4. táblázat: Az összes költség változása a beszállítások számának növekedése esetén



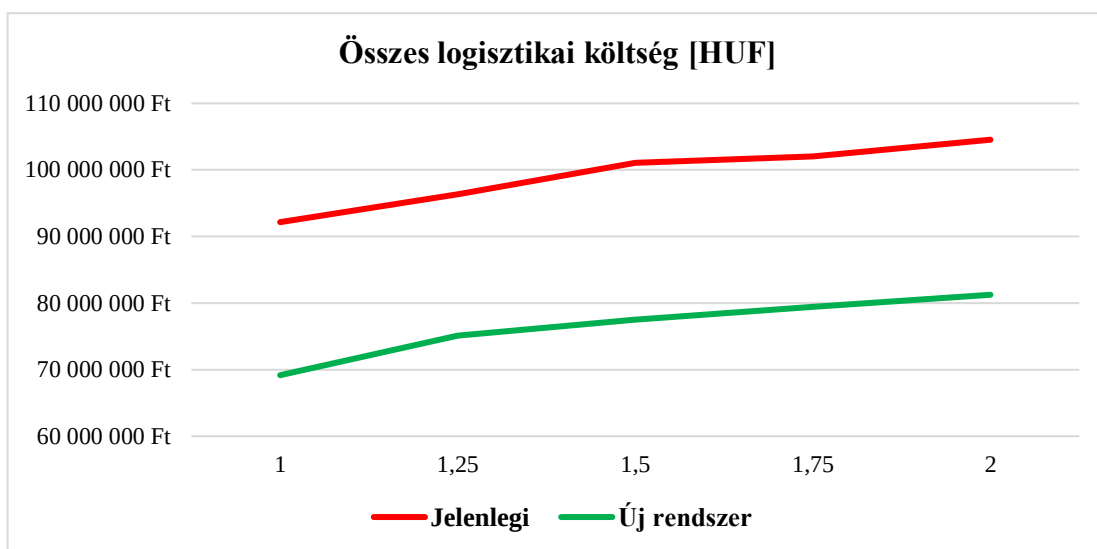
2. ábra: Az összes költség változása a beszállítások számának növekedése esetén

Összes menetteljesítmény	Jelenlegi	Új rendszer	Csökkenés	Δ
1	635385,0	316109,0	50,2%	-
1,25	656164,0	354658,0	45,9%	-4,3%
1,5	676765,8	371975,2	45,0%	-0,9%
1,75	679583,9	382036,7	43,8%	-1,3%
2	690588,2	392297,4	43,2%	-0,6%

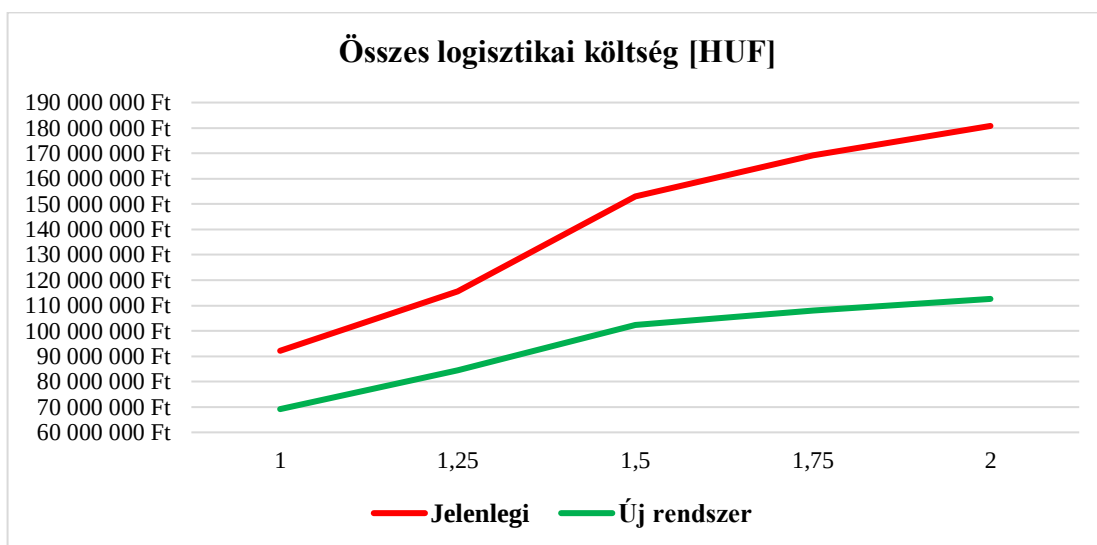
5. táblázat: Az összes menetteljesítmény változása a házhozszállítások részarányának növekedése esetén

Összes költség	Jelenlegi	Új rendszer	Csökkenés	Δ
1	92 157 737 Ft	69 168 923 Ft	24,9%	-
1,25	96 306 174 Ft	75 089 856 Ft	22,0%	-2,9%
1,5	101 030 124 Ft	77 500 504 Ft	23,3%	1,3%
1,75	102 057 970 Ft	79 418 766 Ft	22,2%	-1,1%
2	104 540 480 Ft	81 248 273 Ft	22,3%	0,1%

6. táblázat: Az összes költség változása a házhozszállítások részarányának növekedése esetén



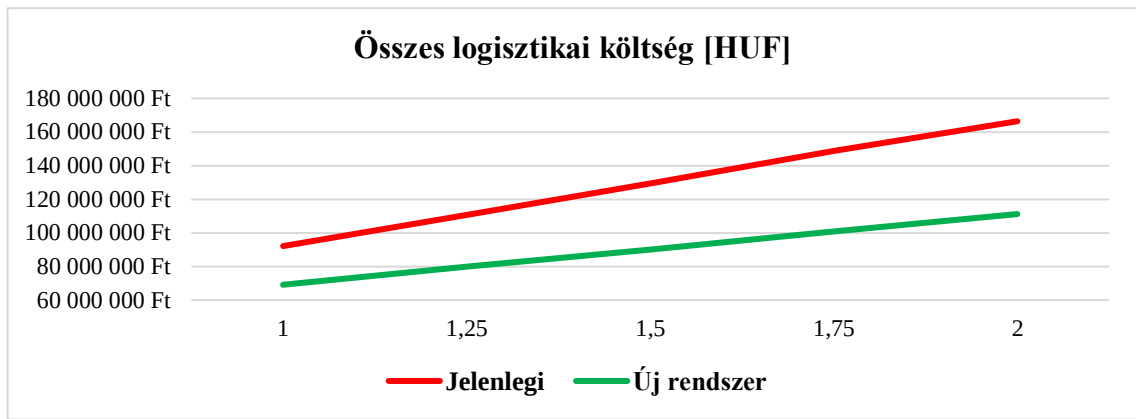
3. ábra: Az összes költség változása a házhozszállítások részarányának növekedése esetén



4. ábra: Az összes költség változása a beszállítások számának és a házhozszállítás részarányának együttes növekedése esetén

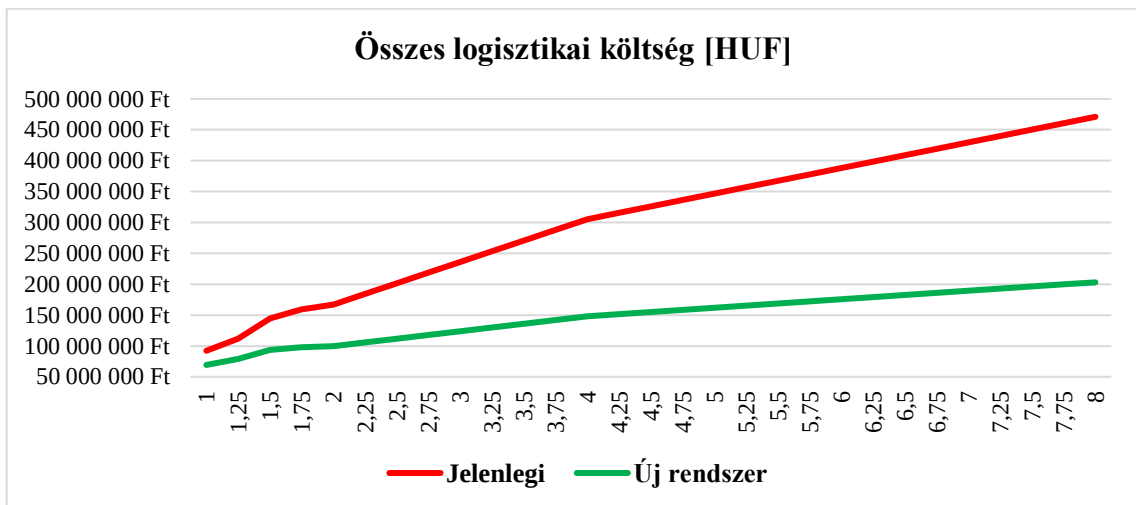
Összes költség	Jelenlegi	Új rendszer	Csökkenés	Δ
1	92 157 737 Ft	69 168 923 Ft	24,9%	-
1,25	110 637 468 Ft	80 026 142 Ft	27,7%	2,7%
1,5	129 425 150 Ft	90 161 728 Ft	30,3%	2,7%
1,75	148 610 367 Ft	100 795 032 Ft	32,2%	1,8%
2	166 377 173 Ft	111 201 666 Ft	33,2%	1,0%

7. táblázat: Az összes költség változása a fajlagos szállítási költség növekedése esetén

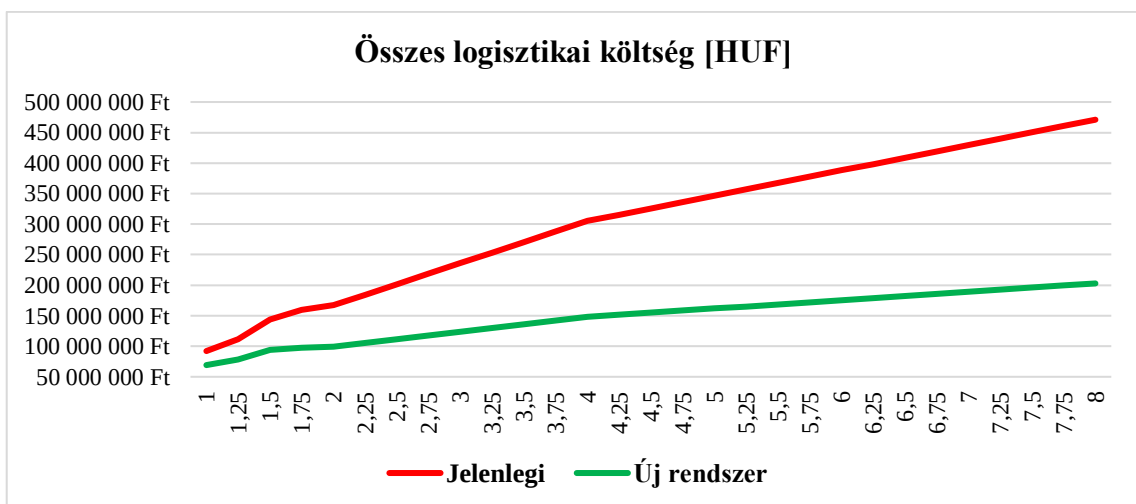


5. ábra: Az összes logisztikai költség változása a fajlagos szállítási költség növekedése esetén

Utolsóként megvizsgáltuk, hogy mi történik 2 esetben a paraméterek 4, illetve 8-szorosára növelése esetén.



7. ábra: Az összes költség változása a beszállítók számának növelése esetén



8. ábra: Az összes költség változása a szállítási költség növekedése esetén