



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

TDK DOLGOZAT

*Városi koncentrált igénypontok áruellátási
rendszerének matematikai és szimulációs
modellje*

Készítette:
Sárdi Dávid Lajos

Konzulens:
Dr. Bóna Krisztián

2018

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	2
Köszönetnyilvánítás	3
1. Bevezetés	4
2. Koncentrált igénypont-halmazok city logisztikai rendszereinek korábbi vizsgálata	5
2.1. Városi igénypontok Budapesten	5
2.2. City logisztikai rendszerek Budapesten és más nagyvárosokban	8
2.2.1. City logisztika Budapesten napjainkban	8
2.2.2. City logisztikai megoldások európai nagyvárosokban.....	9
2.3. Vizsgálati módszertan kidolgozása és alkalmazása.....	11
2.4. Mezoszkópikus szintű szimulációs modell és a költségstruktúra matematikai modelljének kidolgozása	12
2.5. További kapcsolódó kutatások	13
3. A koncentrált igénypontok city logisztikai rendszereinek matematikai modellje	15
3.1. Az áruszállítási folyamatok matematika modellje a jelenlegi rendszer esetén.....	15
3.1.1. Beszállítási folyamatok matematikai modellje a jelenlegi rendszerben	15
3.1.2. Inverz logisztikai folyamatok matematikai modellje a jelenlegi rendszer esetén...	21
3.2. Az áruszállítási folyamatok matematika modellje a vizsgált új rendszer esetén.....	26
3.2.1. Logisztikai folyamatok matematikai modellje az új rendszerben, a beszállítók és a konszolidációs központ között	26
3.2.2. Logisztikai folyamatok matematikai modellje az új rendszerben, a konszolidációs központ és a koncentrált igénypont-halmazok között.....	30
4. Szimulációs vizsgálatok és eredményei.....	40
4.1. Fizikai paraméterek vizsgálata	40
4.2. Költségparaméterek vizsgálata	44
4.3. Érzékenységvizsgálatok.....	46
5. További kutatási irányok.....	52

5.1. Szimulációs szoftver kiválasztása.....	52
5.2. Alternatív közlekedési módok alkalmazása a koncentrált igénypont-halmazok áruellátási rendszerében.....	53
5.3. További feladatok	54
6. Összefoglalás	55
Ábrajegyzék	56
Táblázatjegyzék.....	57
Irodalomjegyzék.....	58
Mellékletek.....	61
1. Budapest teherforgalmi zónái és célforgalmas úthálózata.....	61
2. Az áruszállítási folyamatok matematikai modelljének bemeneti adatai, jelölései és mértékegységei	62
3. A költségstruktúra matematikai modelljének kivonata	69
4. A legfontosabb fizikai és költségparaméterek eloszlásai	73
5. Az összes költség változása bizonyos paraméterek növelése esetén.....	82
5.1. Az összes költség változása a beszállítások számának növelése esetén	82
5.2. Az összes költség változása a szállítási költség növekedése esetén	83
6. Szimulációs szoftver kiválasztása COMBI-módszerrel	84

Köszönetnyilvánítás



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

1. Bevezetés

2015 nyarán kezdtünk el foglalkozni a budapesti koncentrált igénypontok city logisztikai rendszereinek vizsgálatával az Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszék city logisztikai kutatócsoportjában. Koncentrált igénypont-halmazoknak nevezzük azon az igénypontok halmazait, ahol kis területen nagyszámú üzlet helyezkedik el, relatíve nagy áruforgalommal, valamint nagy vásárlóforgalommal. 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]. Kutatásunk első fázisában elsősorban a bevásárlóközpontokra koncentráltunk, mivel a bevásárlóközpontok menedzsmentje által generált centralizáltság pedig megkönnyítette az adatgyűjtést. Budapest 21 általunk is vizsgált bevásárlóközpontjában jelenleg több, mint 3000 üzlet található, így a város kiskereskedelmi üzleteinek több, mint 10%-a a város 21 pontjába koncentrálódik. Korábbi projektek tapasztalatai szerint ezek az igénypontok jelentős áruforgalmat, és ezáltal környezet- és zajterhelést okoznak, miközben a logisztikai rendszereik nem megfelelőek.

Kutatásunk első lépésében kidolgoztunk egy standard vizsgálati módszertant, mellyel 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 és lehetővé tették a jelenlegi és lehetséges új city logisztikai rendszerek modellezését is. A modellezés során elsőként a beszállításokhoz tartozó fizikai folyamatokat képeztük le, majd elkészítettük a költségstruktúra matematikai modelljének leképezését, végül pedig beépítettük a szimulációs modellbe az inverz logisztikai folyamatokat is. Ebben a dolgozatban a kétéves modellező munka fő eredményeit fogom összefoglalni, elsősorban a modellezett folyamatok részletes matematikai modelljét (melyet a korábbi dolgozatokban és publikációkban még nem mutattam be), valamint a szimulációs futtatások teljes rendszerre vonatkozó eredményeit, amelyek megmutatják, hogy egy ilyen új rendszer a teljesítmények és a költségek terén is jelentős megtakarításokat eredményezhet.

Kutatói projektünk és ezáltal a dolgozatom fő célja, hogy a budapesti koncentrált igénypontok logisztikai rendszerében a jövőben ne csak találgatni tudjunk az új megoldások kapcsán, hanem legyenek olyan eszközök is, melyekkel meg tudjuk mutatni, hogy adott feladatok esetén adott megoldások alkalmazása milyen megtakarításokat jelentene, és ezáltal megmutathatóvá váljon az, hogy miért is jó a többlépcsős, konszolidáció alapú rendszerek alkalmazása.

2. Koncentrált igénypont-halmazok city logisztikai rendszereinek korábbi vizsgálata

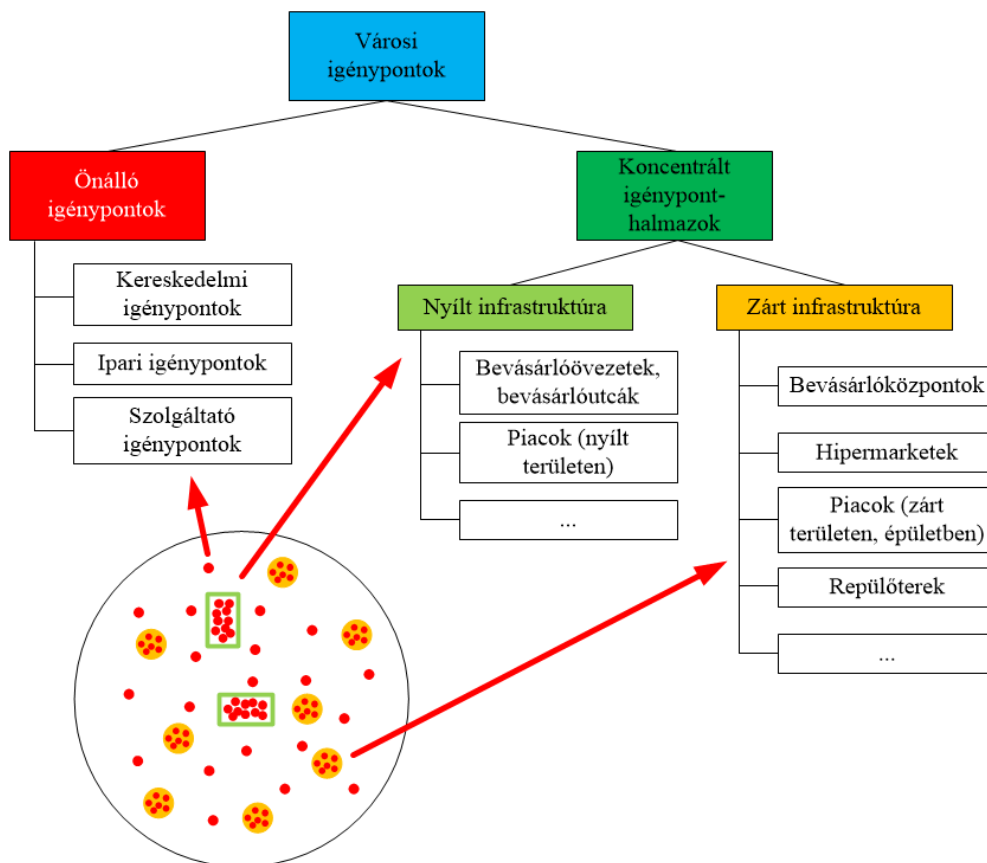
Ebben a fejezetben először részletesen definiálom és osztályozom a városi igénypontokat, áttekintem azok budapesti helyzetét, megvizsgálom a city logisztika jelenlegi budapesti helyzetét, különböző speciális city logisztikai rendszereket Európa-szerte, valamint bemutatom a kutatásunk eddigi legfontosabb fázisait is a vizsgálati módszertan kidolgozásától a modellezés korábban már publikált fázisaig.

2.1. Városi igénypontok Budapesten

Magyarországon a Központi Statisztikai Hivatal adatai alapján 2017. december 31.-ével bezárólag 132.508 kiskereskedelmi üzlet volt megtalálható, 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 eddigi projektek során méret, illetve elhelyezkedési szempontokat figyelembe véve), illetve 22 hipermarketet különböztet meg (az egész országban összesen 121, illetve 164 működik, hipermarketként külön regisztrálva azokat is, melyek 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 pedig egy hipermarketben található üzlet [2].

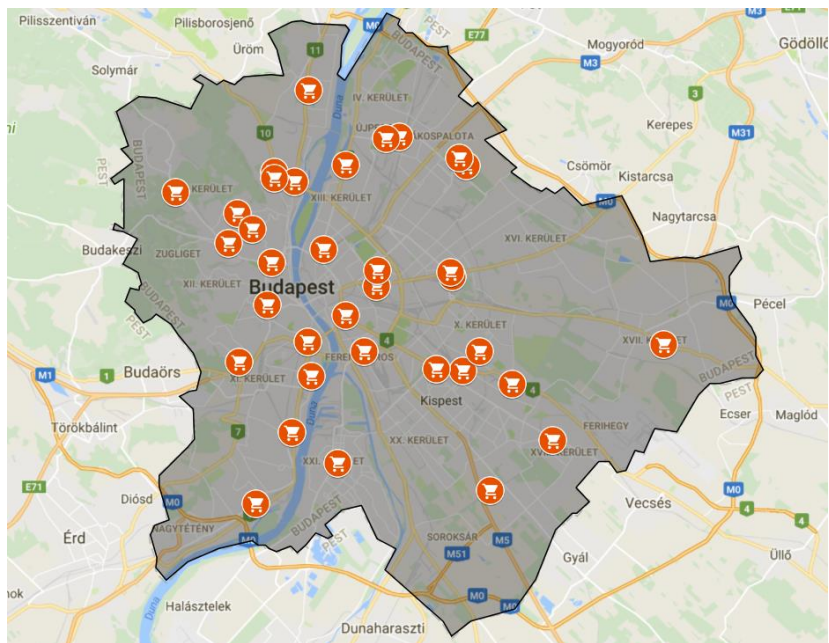
Az igénypontokat a jelenlegi kutatás szempontjából a 2.1. ábrán látható módon két fő csoportba sorolhatjuk: megkülönböztetünk önálló igénypontokat (melyek lehetnek kereskedelmi, ipari, illetve szolgáltató típusú igénypontok), valamint több önálló igénypontot valamilyen szempont szerint magába foglaló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



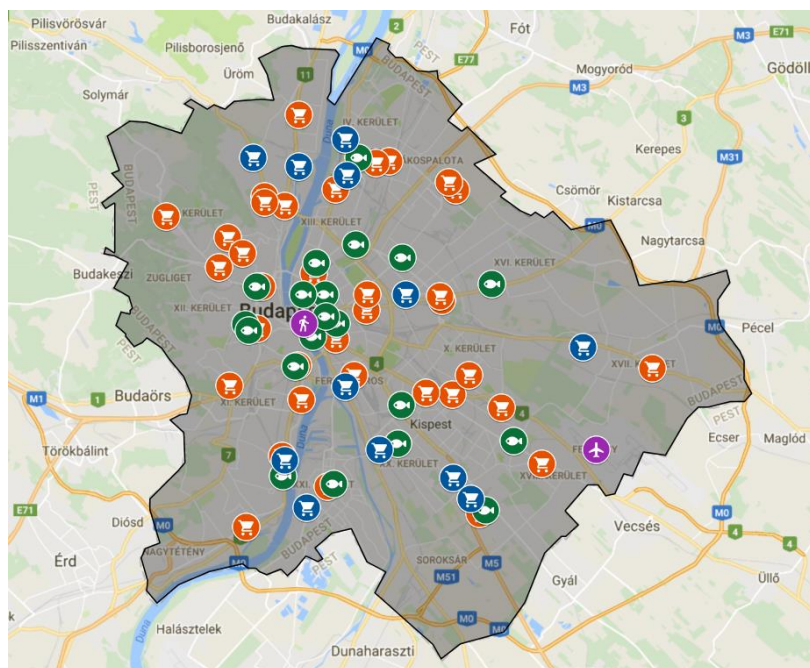
2.1. ábra: A városi igénypontok csoportosítása

Bevásárlóövezeteknek, illetve bevásárlóutcáknak nevezzük a leglazább szerkezetű koncentrált igénypont-halmazokat, ezek esetében gyakorlatilag egy lényegében nyitott városi területen sűrűn elhelyezkedő önálló igénypontokról beszélünk, melyeket 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 vámmentes övezeteinek üzletei ezzel szemben egy kötöttebb módon, egy épülethez, illetve annak tulajdonosához kötődő kapcsolat révén rendelődnek egy koncentrált igényponthoz. Mi jelenleg ezt a hat fő csoportot különböztetjük meg, azonban természetesen más logika alapján is megkülönböztethetünk további csoportokat. A 2.2. ábrán látható az általunk vizsgált bevásárlóközpontok elhelyezkedése kiegészítve a KSH által bevásárlóközpontként nyilvántartott koncentrált igénypont-halmazokkal [3], a 2.3. ábrán pedig látható minden, általunk, illetve a KSH által figyelembe vett koncentrált igénypont-halmaz. Ezen az ábrán narancssárgával jelöltem a bevásárlóközpontokat, kézzel a hipermarketeket, zölddel a piacokat, illetve lilával az egyéb koncentrált igénypontokat (Váci utca bevásárlóövezetet, illetve a repülőtér).



2.2. ábra: A vizsgált bevásárlóközpontok elhelyezkedése Budapesten, Google Maps-on



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

Az eddigi kutatásaink során elsősorban ugyan a bevásárlóközpontokat vizsgáltuk, azonban természetesen az egyéb típusú koncentrált igénypont-halmazokkal is foglalkoznunk kell, mivel ezek is jelentős hatást gyakorolnak a városra, így a modellezés során nagyon fontos az, hogy minden féle igénypont-halmaz kezelhető legyen a kidolgozott struktúrában.

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 áruféleségek más jellegéből adódóan feltételezhetően egészen más folyamatai vannak. Számos hipermarketet is megkülönböztethetünk ezeken felül, figyelembe véve a KSH adatait is [4], valamint idesorolhatjuk a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér is, mivel ott is számos üzlet található, azonban itt számos légi közlekedési, vámkezelési, illetve biztonsági előírást is figyelembe kell venni, amelyek speciálissá teszik ennek a koncentrált igénypont-halmaznak a helyzetét.

2.2. City logisztikai rendszerek Budapesten és más nagyvárosokban

Természetesen a korábbiakban is számos területen foglalkoztak city logisztikai rendszerekkel mind Budapesten, mind pedig más európai nagyvárosokban. Az elmúlt évtizedekben számos többlepcsős, gateway-konceptió [5] alapú rendszert dolgoztak ki (gateway-nek nevezzünk a gazdasági körzetek „kapuit”). Ezeknek a rendszereknek legfontosabb elemei a városi konszolidációs központok [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 a kedvező térbeli elhelyezkedésük is, a konszolidációs központok a városközpont körül kiépített gyűrű(k) (pl. Budapest esetében az M0-s körgyűrű) mentén, egy vagy két lépcsőben helyezkednek el.

A városi áruszállítás által okozott problémákat nagy általánosságban a következőképpen foglalhatjuk össze: a tehergépjárművek megfelelően kialakított rakodóhelyek, illetve megfelelő szervezettség 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, kiemelkedően magas légszennyező hatás és hangterhelés mellett [7].

2.2.1. City logisztika Budapesten napjainkban

Budapest jelenlegi city logisztikai rendszerével, illetve city logisztikai törekvéseivel kapcsolatban két projekt dokumentációját érdemes kiemelni. Mind a 2010-es keltezésű Budapest Városfejlesztési Konceptiója [8], mind pedig a BKK által 2014-2030-as időszakra kidolgozott Balázs Mór Terv [9] tartalmaz Budapest teherszállításának jelenlegi helyzetére és fejlesztési irányaira javaslatokat.

Budapest esetében a legjelentősebb, az elmúlt időszakban az áruszállítást érintő intézkedés a fizetős behajtási övezetek kialakítása volt (az ehhez tartozó térképet ld. az 1.

mellékletben), azonban ennek komoly hiányossága, hogy fizetés ellenében gyakorlatilag bárki bárhová behajthat, alternatív megoldást (áruforgalmi zsilipeket, city logisztikai szolgáltató vállalatot) nem dolgoztak ki. Ennek a megoldásnak köszönhetően a városon átmenő forgalom csökkent, azonban kiemelendő, hogy a behajtási övezetek díjszabásának összességére alapra helyezése is negatív következményekkel járt, mivel a szabályok betartása mellett a korábbi árumennyiség beszállítása több fuvarral, kisebb összességű járművekkel kerül beszállításra, ami tovább növeli a tömegre vetített káros anyag kibocsátást, valamint a zajterhelést is.

A megnevezett dokumentumok is kiemelt fontosságot tulajdonítanak a korábbiakban bemutatott városi konszolidációs központoknak, melyeket áruforgalmi zsilipekkel együtt lehetne Budapesten is üzemeltetni, továbbá tervként szerepel bennük a rakodóterületek számának és kapacitásának bővítése, valamint intelligens megoldások használatának bevezetése. Egy, a BKK által jegyzett előadásanyagban mintaprojektet javasolnak: elsőként a kidolgozásra kerülő city-logisztikai rendszer működőképességének letesztelését javasolják egy fizikailag jól lehatárolható területen (ez lehetne pl. a 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 kötését és szigorú ellenőrzését, cserébe intelligens megoldások biztosítását tartalmazza [10], azonban az áruforgalom nagyon komoly hányadért felelős koncentrált igénypont-halmazokkal kapcsolatban nem fogalmaznak meg külön megoldásokat, pedig a koncentráció jól megteremteni a konszolidáció alapjait.

Természetesen ezt megelőzően is foglalkoztak ezzel a területtel itthon, pl. kifejezetten a Váci utca bevásárlóövezet ellátásával is (konszolidációs központot alkalmazó rendszer is működött ezen a területen), valamint bevásárlóközpontokkal, üzletközpontokkal kapcsolatos információk is elérhetők a több, mint 35 évvel ezelőtt kiadott *Városi logisztika* című könyvben [11], azonban sajnálatos módon napjainkban ezek a rendszerek háttérbe szorultak a city logisztika szempontjából.

2.2.2. City logisztikai megoldások európai nagyvárosokban

Számos nagyvárosban működnek már sikeresen többlepcsős, 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. 2.4. ábra), illetve a drezdai Volkswagen-gyár kiszolgálásában [13], cargo hajókkal dolgoznak Amszterdamban (DHL [14]) vagy Utrechtben (BeerBoat [15], ld. 2.4. ábra), valamint Európa szinte 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].



2.4. ábra: Áruszállító villamos Zürichben [18], illetve cargo hajó Utrechtben [15]

Két rendszert szeretnék részletesen is bemutatni a külföldi példák közül ebben a dolgozatban: ebből egyik a padovai Cityporto rendszer, ami egy klasszikus kétlépcsős city logisztikai rendszer, másik pedig a bristoli Broadmead Freight Consolidation Scheme, amely az angliai Bristol bevásárlóövezetét szolgálja ki.

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 2.5. ábrán látható.



2.5. ábra: A padovai Cityporto rendszer működése [19]

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 csökkent, a gázfogyasztás pedig 58.200 literrel csökkent, ami 219.65 t CO₂, illetve 51,4 kg PM₁₀ kibocsátás csökkenést jelentett [20].

Másik kiemelendő rendszer a Bristol Broadmead Consolidation Scheme, ahol a városközpontban található bevásárlónegyed (ami a budapesti Váci utcához hasonló, így koncentrált igénypont-halmaznak tekinthető) 63 üzletét szolgálják ki tehergépkocsikkal kétlépcsős city logisztikai rendszerben, a konszolidációs központot pedig a város határán helyezték el [21]. 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, ahol konszolidáltan végzik a beszállításokat a környező utak terhelésének csökkentésének érdekében [22]. Ez, illetve a sikeres padovai projekt is azt mutatja, hogy a többlépcsős szervezésű rendszerek komoly megtakarításokat hozhatnak. A BME Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszékének city logisztikai kutatócsoportja számos korábbi kutatás után 2015 nyarán kezdett el foglalkozni kifejezetten ezzel a területtel, a következő fejezetekben ennek a projektnek az eddigi eredményeit mutatom be.

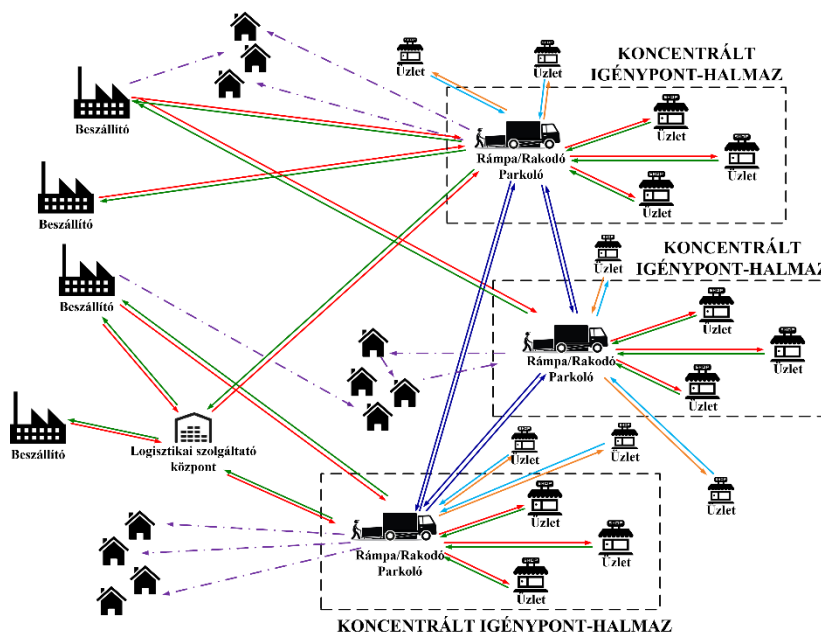
2.3. Vizsgálati módszertan kidolgozása és alkalmazása

Kutatásunk első lépéseként rendelkezésre álló valós adatok hiányában ki kellett dolgoznunk egy vizsgálati módszertant, amely lehetővé tette a koncentrált igénypont-halmazok logisztikai jellemzőinek megismerését. Ez a módszertan egy feltáró kutatásból (szakértői interjú, megfigyeléses vizsgálat), illetve egy minden általános jellemzőre és 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 (melyek 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, valamint kiegészítettük a módszertant egy topológiai modellezési résszel is), ahol a több, mint 400 üzletből közel 163 üzlet töltötte ki a kérdőívünket, a továbbiakban pedig tervben van egy budapesti piac, illetve egy külső területben található bevásárlóközpont részletes felmérése is. Erről a projektről is készül ebben az évben egy TDK-dolgozat „*Topológiai modell építése városi bevásárlóövezetek city logisztikai szempontú elemzésére*” címmel.

A vizsgálatok eredményeként megtudtuk, hogy a vizsgált bevásárlóközpontokban milyen üzletek a jellemzők, a beszállítások száma nagy, jellemzően kis járművekben, kis tételeket szállítanak be, mindez pedig a reggeli csúcsforgalom idejében és a bevásárlóközpontok nyitvatartási ideje alatt történik. A számos jelentkező probléma miatt érdemesnek találtuk, hogy új city logisztikai megoldások modellezésével és bevezetésével is elkezdjünk foglalkozni.

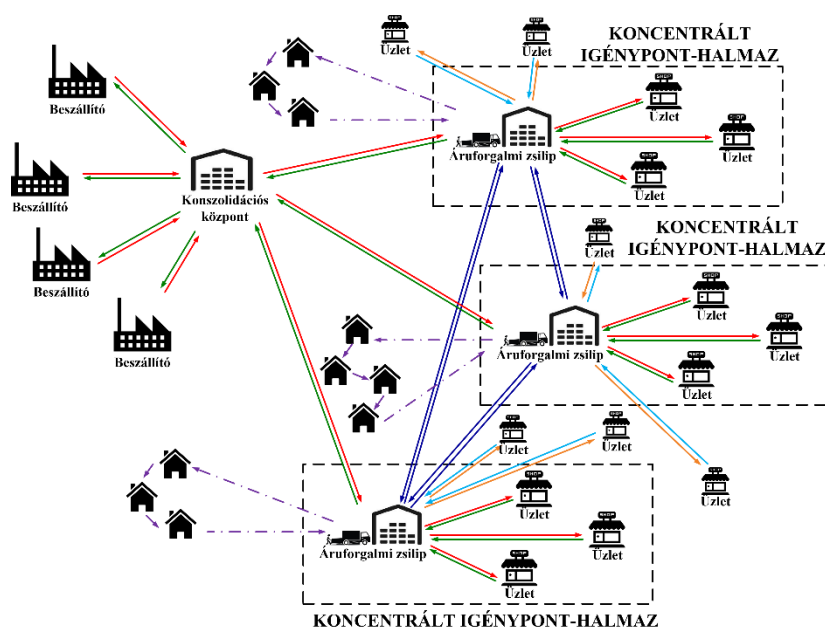
2.4. Mezoszkópikus szintű szimulációs modell és a költségstruktúra matematikai modelljének kidolgozása

A kutatás következő lépéseként felépítettünk egy mezoszkópikus szintű szimulációs modellt Microsoft Excelben, amely alkalmas a budapesti bevásárlóközpontok áruforgalmának vizsgálatára mind a jelenlegi helyzetben, mind pedig az alternatív city logisztikai rendszerek (melyek egyik esetben környezetbarát tehergépkocsit, másik esetben villamos-szerelvényt használnak a konszolidációs központ és a plázák között) esetén. A modellezésről TDK-dolgozat [26], szakdolgozat [27], egy angol nyelvű konferenciapublikáció [28] és egy magyar nyelvű összefoglaló cikk is készült [29]. A koncentrált igénypont-halmazok áruellátási rendszere jelenleg (a korábbi vizsgálatok eredményei alapján, elsősorban a bevásárlóközpontokra vonatkozó adatok alapján kidolgozva) a 2.6. ábrán látható módon alakul, a szimulációs modell ezt a rendszert vizsgálja teljes egészében.



2.6. ábra: A koncentrált igénypontok áruellátási rendszerének jelenlegi helyzete

A 2.7. ábrán látható a szimulációs modellben vizsgált új rendszer vázlatja. Ekkor a beszállító és a koncentrált igénypont-halmazok közé egy konszolidációs központ kerül.



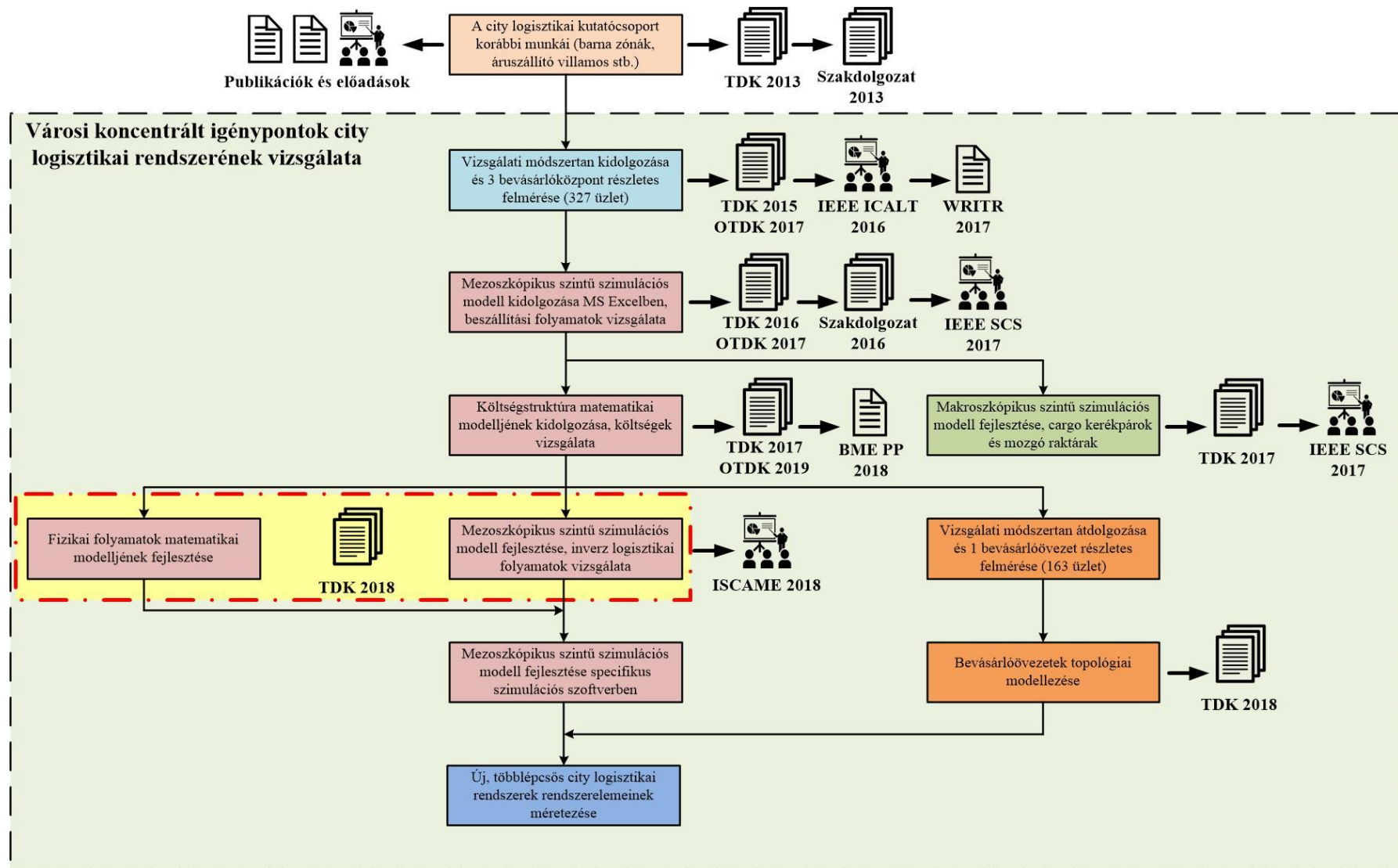
2.7. ábra: A koncentrált igénypontok áruellátási rendszerének lehetséges megoldása

A modell MS Excel használatával készült, a különböző munkalapok véletlengenerátorok alapján végzik a számításokat. A modellezés első fázisában a beszállítások városhatáron belülre eső részeit modelleztük [26], majd bővítettük a modellt a beszállítások városon kívülre eső szakaszaival, illetve a költségek modellezésével [30] [31], végül pedig modelleztük az inverz logisztikai folyamatokat is. A korábbiakban el nem végzett legfontosabb feladat a folyamatok matematikai modelljének elkészítése volt, ezt mutatom be részletesen a következő fejezetekben, utána pedig részletesen ismertetem a kapott eredményeket.

2.5. További kapcsolódó kutatások

Az ALRT city logisztikai kutatócsoportja számos ide kapcsolódó kutatást végzett már a korábbiakban is. Foglalkoztak a budapesti barnazónás területek vizsgálatával és hasznosítási lehetőségeivel [32] Budapest kötőtpályás hálózatának áruszállításban történő hasznosítási lehetőségeivel [33], a közös rakodóhelyek szerepével és fejlesztési lehetőségeivel [34], valamint költségek modellezésével is [35]. A koncentrált igénypontokkal kapcsolatos kutatásunkon belül makroszkópikus szinten foglalkozunk még egy olyan háromlépcsős city logisztikai rendszer modellezésével is, amelyben cargo kerékpárokat és mozgó raktárakat használunk, egy a város bevásárlóközpontjainak összeségére kiterjedő rendszerben [36] [37].

A koncentrált igénypont-halmazokkal kapcsolatos kutatásunk eddigi fő lépéseit és eredménytermékeit (külön jelölve a TDK, illetve szakdolgozatokat, publikációkat és konferenciaelőadásokat/konferenciapublikációkat) a 2.8. ábra foglalja össze, sárga háttérrel emelve ki a jelenlegi dolgozat tartalmát.



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

3. A koncentrált igénypontok city logisztikai rendszereinek matematikai modellje

Ebben a fejezetben részletesen bemutatom a koncentrált igénypont-halmazok logisztikai folyamatainak matematikai modelljét, amely alapján a szimulációs modell is működik, lehetővé téve a folyamatok vizsgálatát.

Az áruszállítási folyamatok matematikai modelljének felírásához először elő kellett készíteni 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. Néhány esetben a matematikai modellt illusztrálom az MS Excel alapú szimulációs modell adott modellkomponenst megvalósító elemével. Fontos kiemelni, hogy a szimulációs modell egy az egyben leképezi a matematikai modellt.

3.1. 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 matematikai modelljét, majd az inverz logisztikai folyamatok matematikai modelljét. A jelenlegi rendszer modelljében az idő diszkrét értelmezése alapvetően órás bontású (az új rendszer modellje a más jellegű, konszolidált struktúra miatt napi bontásban dolgozik), bizonyos elemei azonban napi bontásúak.

3.1.1. Beszállítási folyamatok matematikai modellje a jelenlegi rendszerben

A modell alapeleme a beszállításgenerátor, amely azt mutatja meg, hogy adott beszállítási tranzakció mikor valósul meg. A beszállításgenerátor 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 az 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. A szimulációs modell napi beszállításgenerátor munkalapja a 3.1. ábrán látható.

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

3.1. ábra: A szimulációs modell napi beszállításgenerátor munkalapja

A beszállításgenerátor 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:

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

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

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

A beszállításgenerátor második komponensét megvalósító munkalap a 3.2. ábrán látható.

3.2. ábra: A szimulációs modell órás beszállításgenerátor munkalapja

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

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

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 számíthatjuk az i . típusú beszállítási tranzakció során a j . napon beszállított árutérfogatot:

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

Az i . típusú beszállítási tranzakcióhoz tartozó, j . napi anyagmozgatási időszükséglet ekkor a beszállítónál, a kezelendő árumennyiség és fajlagos árukezelési időszükségletek alapján

számítva, figyelembevéve a később bemutatásra kerülő, az adott beszállítás által generált göngyölegkezelés idősükségletét is:

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

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) időszak nyitókészlet a modellben ekkor az SS (Safety Stock = biztonsági készlet) alapmodell [38] szerint számoljuk, 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 l. 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 l. órájában érkező i. típusú beszállításhoz tartozó, a városon kívül megtett út hasonlóan:

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

Ekkor j. nap l. órájában a városon belüli, illetve a városon kívüli szállítási teljesítmény a megtett útból és a szállított árutömegeből 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 üzemanyagfogyasztás (benzin- vagy gázolajfogyasztás a megadott járműtől függően, a ritkább előfordulású üzemanyagokkal nem foglalkozom a mezoszkópikus szintű modellezés során) az i. típusú beszállítási tranzakciók során, a megtett útból és az adott járműhöz tartozó fajlagos fogyasztásból számítva:

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

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

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

$$K_{i,j}^{CO_2(SUP)} = K_i^{CO_2(SUP)} * \left(\sum_{l=1}^{24} S_{i,j}^{l,city} + S_{i,j}^{l,land} \right)$$

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

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

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

A j. napi anyagmozgatási időszükséglet 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 időszükségletből számítva (figyelembe véve a később bemutatásra kerülő kezelendő göngyöleget és a házhozszállítás során kezelendő árumennyiséget is):

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

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:

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

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.

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

A szimulációs modell készleteket számító munkalapja a 3.3. ábrán látható.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Transport informations															
2	Mall ID	Supplier ID	Shop ID	SKU ID	Safety Stock	Opening stock	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	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
4	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
5	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
6	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
7	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
8	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
9	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
10	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
11	SM001	SUP0009	SH0009	SKU003	1,8	19,5	22,4	20,3	28,2	25,4	=MAX(0;	21,4	18,9	16,1	13,5	11,2
12	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
13	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
14	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
15	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
16	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
17	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
18	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

3.3. ábra: Az üzletek (beszállítási tranzakciókhoz tartozó) készletét számító 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 házhozszállítandó árumennyiséget), valamint a fajlagos árukezelési időigényeket:

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

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).

3.1.2. Inverz logisztikai folyamatok matematikai modellje a jelenlegi rendszer esetén

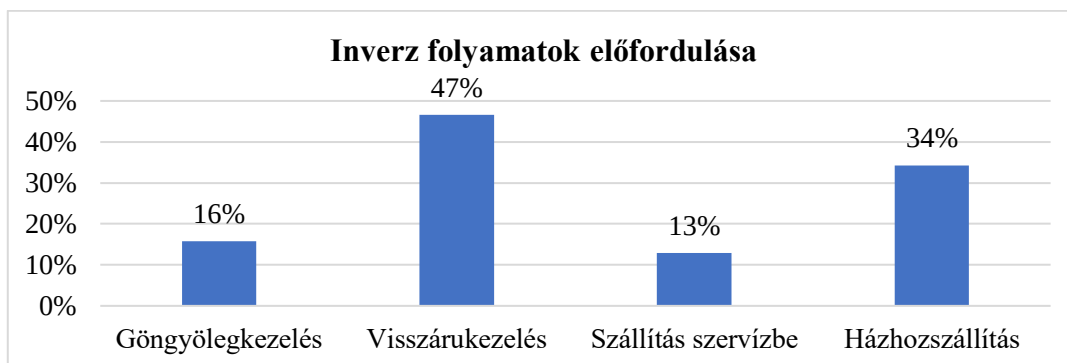
Az előbbieken egyértelmű volt, hogy a beszállítási tranzakciók során minden folyamatrészt modelleznünk kell, mivel ezek a fő logisztikai folyamatok (rendszeres előfordulásúak és nagy árumennyiség kerül mozgatásra ezek során), azonban az inverz logisztikai feladatok sporadikusabbak, valamint kisebb volumenekről van szó, ezért meg kellett vizsgálni, hogy mely folyamatokat kell modellezni, és mely folyamatokat lehet elhanyagolni mezoszkópikus szinten. Ehhez a matematikai modell felírása előtt szükséges volt elemeznem az inverz logisztikai folyamatokkal kapcsolatos adatokat, melyek a korábbi adatgyűjtésből származnak (3 bevásárlóközpont 327 üzletére vonatkoznak).

3.1.2.1. Inverz logisztikai folyamatokra vonatkozó adatok elemzése

Az inverz logisztikai folyamatokkal kapcsolatos vizsgálandó adatok az alábbiak: göngyölegszállítás megléte, göngyöleg típusa, göngyöleg tömege, visszárukezelés megléte, visszárukezelés szükségességének gyakorisága, az üzletből szervízbe történő szállítás megléte, házhozszállítás megléte, házhoz szállítandó árumennyiség, házhozszállítás havi gyakorisága, illetve a házhozszállítás távolsága km-ben kifejezve, intervallumosan.

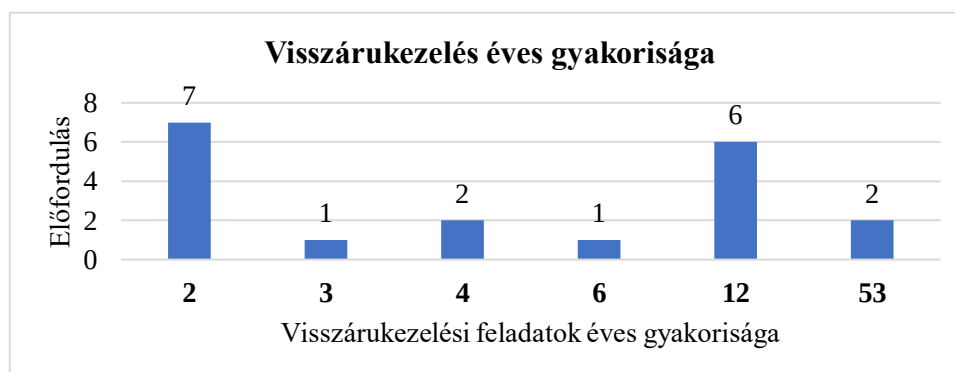
Elsősorban azokat az adatokat elemeztem, melyek a beszállítások szempontjából elég részletesek ahhoz, hogy a szimulációs futtatásokhoz bemenetet képezzenek. Ezen adatok alapján 178 üzletből 28 esetén fordul elő göngyölegkezelés (25 esetben raklap, 2 esetben műanyag rekesz, 1 esetben pedig ládák kezelése), 83 esetben van szó visszárukezelésről

(átlagosan havi 1 alkalommal van erre szükség), 23 esetben van szó szervízbe szállításról, illetve 61 esetben házhozszállításról (átlagosan az áru 21%-át szállítják házhoz, jellemzően napi 2-3 alkalommal). Ez százalékosan a 3.4. ábrán látható.



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

A rendelkezésre álló adatok 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 3.5. ábrán látható módon (jellemzően a 3-4-6 havonta váltanak kollekciót váltó üzletekről van szó; 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 nem lenne jól modellezhető.



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

A szervízbe szállítási folyamatokkal kapcsolatban nem rendelkezem kellőképpen részletes adatokkal, mivel azzal kapcsolatban a kérdőívünkben nem volt részletes kérdés, így megfelelő adatok híján úgy döntöttem, hogy azt sem érdemes beépíteni a mezoszkópikus szintű modellbe. Az adatok feldolgozása után elkészíthető az inverz logisztikai folyamatok matematikai modellje is.

3.1.2.2. Az inverz logisztikai folyamatok modellezése

Az inverz logisztikai folyamatok modellezése egyszerűbb feladat volt, mivel ezek egyszerűbb részfolyamatok, azonban néhány elemet a beszállításoktól eltérően kellett kezelünk. A j. nap l. órájában beérkező i. típusú beszállítási tranzakció által generált, a későbbiekben kezelendő göngyölegstömeg:

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

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 l. órájában generált göngyölegkezelési tranzakcióhoz tartozó szállítási teljesítmény a beszállítási tranzakcióhoz hasonló módon:

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

A szimulációs modell ide tartozó munkalapja a 3.6. ábrán látható.

SZUM

<

3.6. ábra: A göngyölegkezelés során keletkező teljesítményeket modellező munkalap a jelenlegi rendszer esetén

A j. napon az üzemanyagfogyasztás (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.

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

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

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

$$K_{i,j}^{CO_2(empty)} = K_i^{CO_2(SUP)} * \left(\sum_{l=1}^{24} S_{i,j}^{l,empty} \right)$$

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

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

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

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 véletlenszám, $r_{i,j}^*$ pedig normális eloszlású, 0 várható értékű, 1 szórású véletlenszám.

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

A házhozszállítások kapcsán i. típusú házhozszállítási tranzakciókról beszélhetünk, melyek azonban hozzárendelhetők az i. típusú beszállítási tranzakcióhoz (azaz azokat az árukat szállítjuk házhoz, melyek azzal a beszállítási tranzakcióval érkeztek), azonban előfordulhat

olyan eset is, hogy az i. típusú házhozszállítási tranzakció során több különböző típusú beszállítási tranzakció árucikkei 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.

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

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 [39] VRP-beclső formulák alkalmazásával:

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

Az egy járathoz rendelt igénypontok várható száma a j. napon ennek számításához:

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

A be- és kihaladási távolságok a 3.1. táblázatban láthatók.

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

3.1. táblázat: A Clarke&Wright VRP-beclső formulák alkalmazása a szimulációs modellben a jelenlegi rendszer esetén

Ekkor a j. napon az üzemanyagfogyasztás (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 az i. típusú házhozszállítási tranzakciók során keletkező káros anyag kibocsátás a beszállítások során öt különböző káros anyagot vizsgálva:

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

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

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

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

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

Ezzel elkészült a jelenlegi logisztikai rendszer folyamatait leíró matematikai modell.

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

A matematikai modellt elkészítettem a konszolidációs központot alkalmazó új, kétlépcsős rendszerre is. Itt a beszállítók és a koncentrált igénypontok közé konszolidációs központot helyezünk, ami készletezési funkciót is átvesz a beszállítóktól és innen konszolidáltan szállítunk ki, azaz egy klasszikus kétlépcsős, gateway-koncepció alapú rendszerről beszélünk. A koncentrált igénypont-halmaznál található beszállítói udvarok, illetve közös rakodóhelyek áruforgalmi zsilipekké alakulnak át ebben a rendszerben és 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 kezelem együtt. Az új rendszer modellje a konszolidált (így napi mennyiségeket összevontan kezelő) tranzakciók miatt alapvetően napi bontásban dolgozik a vizsgált egy hónapos időszakban.

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

Itt is, a jelenlegi rendszerhez hasonlóan, a modell alapkomponeense a beszállításgenerátor (a szimulációs modell ezt kezelő munkalapját ld. a 3.7. ábrán). Ekkor $x_{i,j}^{CC}$ az a változó, amely megmutatja, hogy az 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.

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

3.7. ábra: A beszállítási napokat generáló 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: $Q_i^{CC} = 0,25$.

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

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:

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

Ezeket összegezve a j. napon megkapjuk 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 beszállítóktól a konszolidációs központba beszállított árutérfogat:

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

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

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

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 ismételten 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 üzemanyagfogyasztás (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 üzemanyagfogyasztásból számított, az i. típusú összevont beszállítási tranzakciókhoz tartozó káros anyag kibocsátás a beszállítások során öt különböző káros anyagot vizsgálva:

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

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 göngyöleg tömeg:

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

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):

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

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 üzemanyagfogyasztás (benzin- vagy gázolajfogyasztás) az i. típusú összevont beszállítási tranzakció által generált göngyölegkezelési feladatok során az alábbi. Amennyiben az i. típusú összevont beszállítási tranzakcióhoz nem tartozik göngyölegkezelési feladat, úgy ez a formula az üresjárat során elfogyasztott üzemanyag mennyiségét adja meg.

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

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

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

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

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

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

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

Amennyiben az adott összevont beszállításhoz nem tartozik göngyölegkezelési feladat, úgy a fenti formulák az üresjárat során elfogyasztott kibocsátott káros anyag mennyiségét adják meg. Ki kell emelnem, hogy a beszállítók és a konszolidációs központ között nem szükséges külön házhozszállításokat kezelni, mivel a azokat a konszolidációs központból osztjuk szét az áruforgalmi zsilipeken át. A beszállítóktól a házhozszállítandó áruk a többi áruval együtt érkeznek, kezelésük a konszolidációs központban esedékes.

3.2.2. 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 írjuk fel. Ennek a résznek is egy beszállításgenerátor (vagy a

konszolidációs központ szemszögéből nézve kiszállításgenerátor) az alapja, ahol $x_{i,j}^{CDP}$ az a változó, amely megmutatja, hogy az j. napon megvalósulhat-e az i. konszolidált beszállítási tranzakció a koncentrált igénypontba. 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, amit a korábbiakhoz hasonlóan kísérleti úton határoztunk 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-halmazra 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.

A szimulációs modell a koncentrált igénypont-halmazhoz konszolidáltan kiszállítandó árumennyiséget meghatározó munkalapja a 3.8. ábrán látható.

SZUM		=HA('CC OUTPUT'!O12=1;VÉLETLEN.KÖZÖTT('CC TRANSPORTS'!\$U12;'CC TRANSPORTS'!\$V12);'HOME DEL DEM (W)'!Q11;''))																					
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1	Transport informations					Daily weights/shop (shop demands)																	
2	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
3	SM001	SUP0001	SH0001	SKU006			4									4		2					2
4	SM001	SUP0002	SH0002	SKU005		32				28		46											
5	SM001	SUP0003	SH0003	SKU003		19		22								14				31	12		20
6	SM001	SUP0004	SH0004	SKU002		147	149	43	94	124	31	122	103	113	126	64	101	117	48	122	105	138	44
7	SM001	SUP0005	SH0005	SKU002		100				79			94					30					
8	SM001	SUP0006	SH0006	SKU006		1101			1237			482											
9	SM001	SUP0007	SH0007	SKU006		495		177		366			106						376		151		
10	SM001	SUP0008	SH0008	SKU003		75	107	49	83	107	104	157	60	143	102	83	72	117	53	185	149	72	156
11	SM001	SUP0009	SH0009	SKU003								=HA('C					8,78		8,822	9,704		4,745	
12	SM001	SUP0010	SH0010	SKU003				213						170,7					269				
13	SM001	SUP0011	SH0011	SKU001		465		521	624	929	860	1708	499	435	829	643	863			1450	1679		
14	SM001	SUP0012	SH0012	SKU001		305	229	110	121	151	289	495	364	315	206	114	465	260	375	325	416	200	149
15	SM001	SUP0013	SH0013	SKU003			85										79	74	156				
16	SM001	SUP0014	SH0014	SKU002		53	50	36	34	45	35	27	55	27	50	27	31	60	55	26	36	28	16
17	SM001	SUP0015	SH0015	SKU007							12		14				8						
18	SM001	SUP0016	SH0016	SKU001		2360	2996	827	1468	2193	2887	2477	1396	807	2792	2561	2291	2625	2477	1394	2753	2037	825
EMPTEES EMPTEES PER (L) CC OUTPUT CC OUTPUT (W) CC STOCK (W) REAL OUTPUT (W) CC OUTPUT (V) CC STOCK (V) REAL OUTPUT (V) CC MAT HAND (L) EMPTEES ...																							

3.8. ábra: A koncentrált igénypontra konszolidáltan kiszállítandó árumennyiséget meghatározó munkalap az új rendszer esetén

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

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

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

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 térfogatban 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.

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

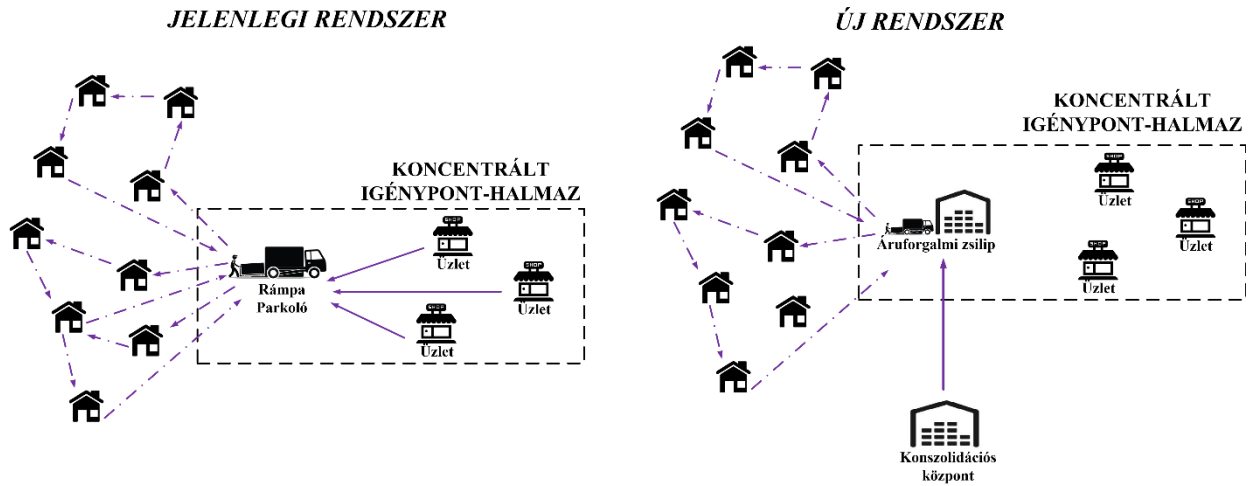
A j. napon a koncentrált igénypont-halmazon található üzletbe beszállítandó, az i. típusú beszállítási tranzakcióhoz tartozó árutömeg ekkor $M_{i,j}^{CDP}$:

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

Ebből számítható az ehhez tartozó, a j. napon a koncentrált igényponti 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 az üzletekből történnek, az új rendszerben azonban az üzleteket nem érintve, a konszolidációs központon és az áruforgalmi zsilipen át történnek a 3.9. ábrán láthatóan.



3.9. ábra: Házhozszállítások lebonyolítása a jelenlegi, illetve 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 véletlenszám, $r_{i,j}^*$ pedig 0 várható értékű, 1 szórású normális eloszlású véletlenszám.

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

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 szórású normális eloszlású véletlenszám.

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

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

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

Ebben az esetben $M_{i,j}^{hd^*}$ a ténylegesen házhozszállítandó mennyiséget jelenti az i. típusú házhozszállítási tranzakciók során, amit az aktuális készletet és a backlogot is ellenőrizve a házhozszállítási igényeket figyelembe véve kapunk meg:

$$M_{i,j}^{hd^*} = \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ ha } x_{i,j}^{hd} = 0 \\ \min(M_{i,j}^{hd}, K_{i,j}^{CC}) \end{array} \right\}$$

A j. napi anyagmozgatási időszükséglet 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:

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

Ekkor a koncentrált igényponti áruforgalmi zsilipéből a j. napon házhozszállítandó 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 házhozszállítandó áru térfogata a házhozszállítandó áru tömegével arányosan számítható:

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

A j. napon a konszolidált beszállítások száma a konszolidációs központból a koncentrált igénypont-halmaz áruforgalmi zsilipébe:

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

A szimulációs modell konszolidált beszállításokat kezelő munkalapja a 3.10. ábrán látható.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Daily deliveries/shopping mall [kg]																		
2			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3	SM001	SKU001	32251,2	22334,7	27514,7	30328,7	25356,6	32688,2	26465,9	31928,7	26115,3	21649,4	22047,8	29864,9	24479,9	28287,4	33007,4	20683,6	22930,8
4	SM006	SKU001	26963,7	14261,9	10615,5	8878,8	9741,6	8888,4	17986,1	7108,5	23305,0	10014,6	9413,7	9670,4	7417,7	8411,9	10315,9	17935,3	12051,5
5	SM018	SKU001	10374,7	6823,2	12606,5	18237,0	6714,5	9109,3	5523,0	14559,7	3816,9	5362,4	13258,8	14574,9	12766,2	13173,3	13658,9	6138,2	13871,4
6	Daily deliveries/shopping mall [m3]																		
7			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
8	SM001	SKU001	165,9	119,3	146,7	117,0	124,8	153,1	135,3	129,6	128,8	98,9	99,6	111,7	97,6	123,2	138,0	101,1	81,2
9	SM006	SKU001	108,6	76,7	80,8	44,5	62,7	49,2	77,5	53,0	96,9	54,7	42,7	46,5	46,1	38,5	54,4	83,5	71,8
10	SM018	SKU001	99,1	83,2	145,0	166,3	48,9	108,9	72,7	133,1	49,3	44,7	128,5	96,2	125,1	98,6	109,3	56,6	100,4
11	Count of deliveries/shopping mall/day (road vehicle)																		
12			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
13	SM001	SKU001	5	4	5	4	5	5	4	4	4	3	3	4	3	4	4	3	3
14	SM006	SKU001	4	3	3	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	3	3
15	SM018	SKU001	3	3	5	2	2	4	3	4	2	2	4	3	4	3	4	2	3
16																			
17																			
18																			

3.10. ábra: A konszolidált beszállításokat kezelő munkalap az új rendszerben

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

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

Ekkor az ehhez tartozó, a j. napon vett városon belüli szállítási teljesítmény:

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

A j. napon az üzemanyagfogyasztás (gázolajfogyasztás, modellszerűen standard, gázolajfogyasztású tehergépkocsival dolgozva) a konszolidált beszállítási tranzakciók során:

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

A j. napon az üzemanyagfogyasztásból számított 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 j. napon az áruforgalmi zsilipbe beérkező i. típusú konszolidált beszállítás által generált, a későbbiekben kezelendő göngyöleg tömeg:

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

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 göngyölegkezelés 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:

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

A j. napon a göngyölegkezelési szállítási teljesítmény (városon belül értelmezve):

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

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

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

A j. napon az üzemanyagfogyasztásból számított káros anyag kibocsátás a göngyölegkezelés és az azon felüli üresfutások során öt különböző káros anyagot vizsgálva:

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

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

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

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

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

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, valamint a zsilip és a vizsgált üzlet között:

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

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:

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

A j. nap, az i. típusú konszolidált beszállítási tranzakciókhoz tartozó készlete 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 értelmezünk backlogot 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 számoljuk, ahol U_i^{SH} biztonsági tényező normális eloszlás szerint, $D(D_{i,j}^M)$ pedig a vevői igények szórása.

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

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

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

A j. napon az áruforgalmi zsiliből kiinduló házhozszállítások során a koncentrált igénypont-halmazból összesen kiszorgálandó házhozszállítási igények száma:

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

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 túráként 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:

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

Így már a jelenlegi rendszerhez hasonló módon számítható a Clarke&Wright-féle VRP becsülő formulákkal, itt is kör alapú kiszorgálandó területet feltételezve a házhozszállítások során megtett távolság a j. napon, a 3.2. táblázatban látható formulákat alkalmazva.

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

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	$7 < C_{i,j}^{hsz} < 1,5 * \frac{N_j^{hd_CDP}}{C_j^{hd_CDP}}$	különben

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

A j. napon az üzemanyagfogyasztás (gázolajfogyasztás, modellszerűen standard, gázolajmeghajtású házhozszállító kistehergépkocsival dolgozva) a koncentrált igényponti áruforgalmi zsilipből kiinduló házhozszállítások során:

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

A j. napon a házhozszállítás során értelmezett üzemanyagfogyasztásból számított káros anyag kibocsátás a beszállítások során öt 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 felírtuk 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 modellünk.

A fizikai folyamatok matematikai modelljéhez tartozik még a költségstruktúra matematikai modellje is, melyet a tavalyi év során készítettünk el. A költségek vizsgálatáról akkor TDK-dolgozat [30] és egy publikáció [31] is készült. Mivel a költségstruktúra matematikai leképezéséről már készült az előző évben egy TDK-dolgozat, így most azzal részletesebben nem foglalkozom, annak kivonata megtalálható a 3. mellékletben.

4. Szimulációs vizsgálatok és eredményei

A korábbiakban is számos futtatást végeztem az MS Excelben felépített szimulációs modell alkalmazásával (elsőként csak a beszállításokat vizsgálva városon belül, majd városon kívül is), ezek pedig azt mutatták, hogy jelentős megtakarítások lehetnek a vizsgált logisztikai rendszerben, mind a teljesítmények (ezáltal pedig a kibocsátások) [26] [28], mind a költségek terén [30] [31]. Most már rendelkezésre áll a teljes folyamat matematikai és szimulációs modellje, így a rendszert mezoszkópikus szinten már teljes körűen vizsgálhatjuk. A korábbi adatgyűjtésünkől 3 bevásárlóközpont 327 üzletére vonatkozó adatokat elemeztük, ezek közül 178 adatsort használtam fel a szimulációs futtatásokhoz a korábbiakban [26] [27], így most is ezekkel fogok dolgozni.

A következő fejezetekben bemutatom a szimulációs futtatások eredményeit, melyeket a modell validációja és verifikációja, illetve kísérlettervezés után kaptam. Mind a jelenlegi, mind pedig az új rendszer esetén 100 kísérletet végeztem el és annak eredményeit értékeltem. Fontos kiemelni, hogy a szimulációs vizsgálat során minden kísérlet véletlen és egymástól teljes mértékben független, így a kapott minta független és véletlen egyaránt.

4.1. Fizikai paraméterek vizsgálata

Elsőként a fizikai paramétereket vizsgálom meg: a tranzakciók számát, a szállított árutömeget, teljesítmény, fogyasztás és kibocsátás értékeket. A jelenlegi rendszerre (egy hónapra) vonatkozólag a 4.1. táblázatban láthatók a beszállítások, a göngyölegkezelési tranzakciók és a házhozszállítások paraméterei.

	Beszállítások		Göngyölegkezelés		Házhozszállítások	
	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
Összes tömeg [t]	1346,1	31,8	44,8	0,4	54,1	2,3
Tranzakciók száma	3396,7	16,5	696,0	7,5	4097,0	72,8
Összes szállítási teljesítmény [t*km]	146969,1	-	5882,6	1369,1	-	-
Menetteljesítmény (városon belül) [km]	51284,8	999,7	51284,8	999,7	51335,9	3195,8
Menetteljesítmény (városon kívül) [km]	240739,8	19738,2	240739,8	19738,2	0,0	-
Benzinfogyasztás [l]	923,7	158,4	923,7	158,4	1284,8	184,7
Gázolajfogyasztás [l]	17541,7	1284,7	17541,7	1284,7	2169,8	150,3
CO kibocsátás [kg]	15,9	1,1	15,9	1,1	3,9	-
CO₂ kibocsátás [kg]	3279,4	231,3	3279,4	231,3	560,2	-
HC kibocsátás [kg]	1,1	0,1	1,1	0,1	0,3	-
NO_x kibocsátás [kg]	6,7	0,5	6,7	0,5	1,0	-
PM kibocsátás [kg]	0,7	0,0	0,7	0,0	0,2	-

4.1. táblázat: Fizikai paraméterek a jelenlegi rendszerben

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 a vizsgált új rendszer, melyben konszolidációs központot helyezünk el a beszállítók és a bevásárlóközpontok közé, a beszállítói udvarokat pedig áruforgalmi zsilipekkel helyettesítjük. A 4.2. táblázatban láthatók a fő paraméterek a beszállítók és a konszolidációs központ között, a 4.3. táblázatban pedig a központ és az igénypontok között.

	Beszállítások		Göngyölegkezelés	
	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
Összes tömeg [t]	1356,2	77,0	43,9	2,7
Tranzakciók száma	1338,9	16,7	227,3	8,1
Összes szállítási teljesítmény [t*km]	151734,0	29329,5	151734,0	29329,5
Menetteljesítmény (városon belül) [km]	130213,1	6285,0	130213,1	6285,0
Menetteljesítmény (városon kívül) [km]	0,0	-	0,0	-
Benzinfogyasztás [l]	864,6	135,7	864,6	135,7
Gázolajfogyasztás [l]	7368,0	376,0	7368,0	376,0
CO kibocsátás [kg]	7,5	0,4	7,5	0,4
CO₂ kibocsátás [kg]	1440,4	69,3	1440,4	69,3
HC kibocsátás [kg]	0,5	0,0	0,5	0,0
NO_x kibocsátás [kg]	2,9	0,1	2,9	0,1
PM kibocsátás [kg]	0,3	0,0	0,3	0,0

4.2. táblázat: Fizikai paraméterek az új rendszerben, a beszállítók és a konszolidációs központ között

	Beszállítások		Göngyölegkezelés		Házhozszállítások	
	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
Összes tömeg [t]	1338,1	41,5	47,4	1,6	49,8	3,7
Beszállítási tranzakciók száma	268,7	6,0	268,7	6,0	991,3	46,7
Szállítási teljesítmény (városon belül) [t*km]	14333,6	432,3	2923,8	69,1	-	-
Szállítási teljesítmény (városon kívül) [t*km]	0,0	-	0,0	-	-	-
Összes szállítási teljesítmény [t*km]	14333,6	432,3	14333,6	432,3	-	-
Menetteljesítmény (városon belül) [km]	2940,1	69,5	2940,1	69,5	49802,6	2056,9
Menetteljesítmény (városon kívül) [km]	0,0	-	0,0	-	0,0	-
Benzinfogyasztás [l]	0,0	-	0,0	-	0,0	-
Gázolajfogyasztás [l]	223,5	5,3	223,5	5,3	2290,9	94,6
CO kibocsátás [kg]	0,4	0,0	0,4	0,0	1,9	-
CO₂ kibocsátás [kg]	80,2	1,9	80,2	1,9	412,4	-
HC kibocsátás [kg]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-
NO_x kibocsátás [kg]	0,2	0,0	0,2	0,0	0,9	-
PM kibocsátás [kg]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-

4.3. táblázat: Fizikai paraméterek az új rendszerben, a konszolidációs központ és a koncentrált igénypont-halmazok között

Látható, hogy az új rendszerben a modellezett árumennyiség 1.356,2 tonna a beszállítók és a konszolidációs központ között, illetve 1.338,1 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 teljesen 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 folyamatok sporadikussága miatt. A házhozszállítandó árumennyiség az új rendszerben 49,8 tonna havonta, ez a jelenlegi rendszerben modellezett mennyiséghez -8% eltérést mutat az előbbihez hasonló okok miatt. Azt azonban kijelenthetjük, hogy jól összehasonlítható a két rendszer, mivel a modellezett mennyiségek kis eltérést mutatnak, csak a ritkább folyamatoknál megy 5% fölé az eltérés.

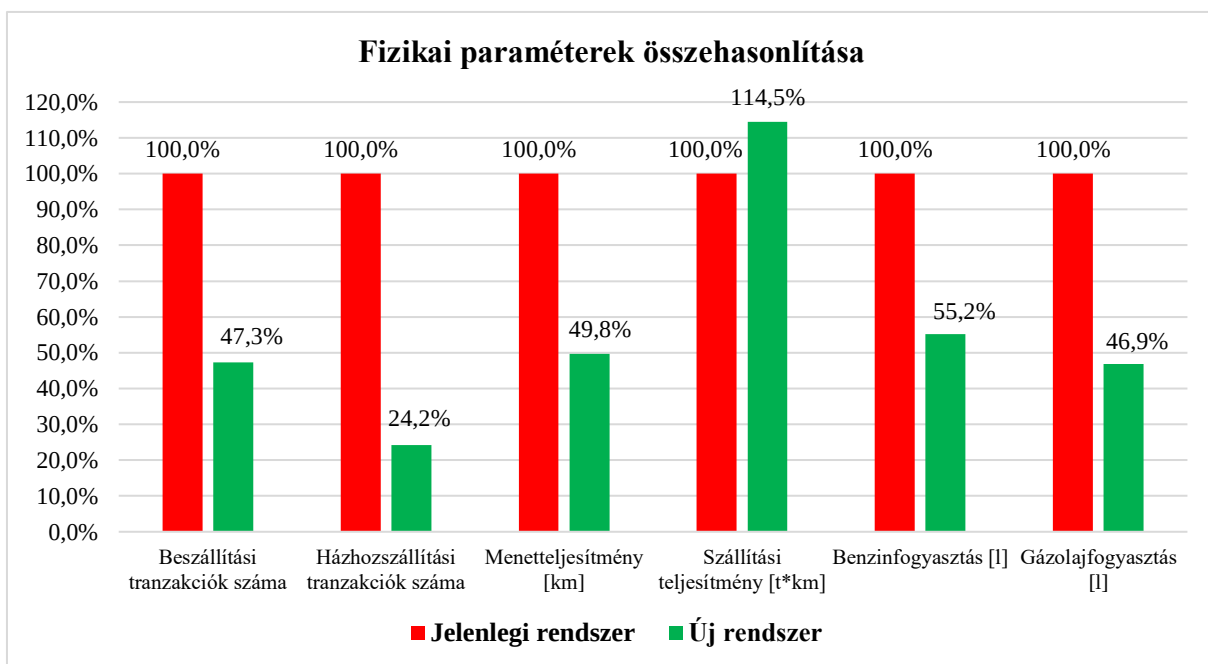
Ezekhez a mennyiségekhez az új rendszerben hozzávetőlegesen 316.100 km menetteljesítmény tartozik, ami kicsivel több, mint 1.700 liter benzinfogyasztással, illetve hozzávetőlegesen 17.500 liter gázolajfogyasztással jár, melyekből pl. 3,5 tonna CO₂ kibocsátás keletkezik, ami a jelenlegi rendszerben vett kibocsátás fele.

A fő paraméterek (havi mennyiségek) összehasonlítva a 4.4. táblázatban láthatók. A fő paraméterek eloszlása a 3. mellékletben látható box-plot, illetve gyakoriság diagramokon.

	Jelenlegi rendszer	Új rendszer	Változás
Beszállítási tranzakciók száma	3396,7	1607,6	-52,7%
Beszállított árutömeg [t]	1346,1	1347,2	0,1%
Házhozszállítási tranzakciók száma	4097,0	991,3	-75,8%
Házhozszállított árutömeg [t]	46,1	49,8	8,0%
Kezelt göngyöleg tömeg [t]	44,8	45,6	1,8%
Menetteljesítmény [km]	635385,0	316109,0	-50,2%
Szállítási teljesítmény (házhozszállítás nélkül) [t*km]	152851,7	174983,4	14,5%
Benzinfogyasztás [l]	3132,2	1729,2	-44,8%
Gázolajfogyasztás [l]	37253,1	17473,8	-53,1%
CO kibocsátás [kg]	35,7	17,5	-50,9%
CO ₂ kibocsátás [kg]	7119,0	3453,5	-51,5%
HC kibocsátás [kg]	2,5	1,2	-50,6%
NO _x kibocsátás [kg]	14,3	6,9	-51,7%
PM kibocsátás [kg]	1,6	0,8	-50,9%

4.4. táblázat: A fő paraméterek alakulása a jelenlegi, illetve az új rendszerben

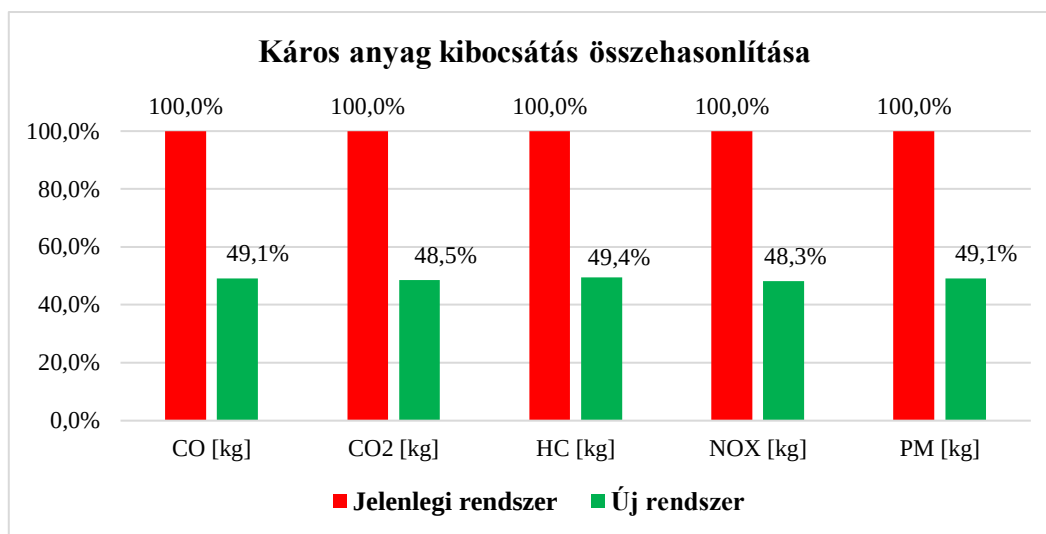
A 4.1. ábrán látható a kapott eredmények összehasonlítása. Minden esetben a jelenlegi rendszerre vonatkozó paramétereket vesszük 100%-nak, ehhez képest látható a diagramon a paraméterek változása.



4.1. ábra: A fizikai paraméterek összehasonlítása a 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. Mivel az új rendszerben nagyobb mennyiséget mozgatunk egyszerre, ezért ennek a menetteljesítményre nincs hatása. A 4.2. ábrán láthatjuk, hogy a megtett út csökkenése hogyan csökkenti a káros anyagok kibocsátását.



4.2. ábra: Káros anyag kibocsátás összehasonlítása a szimulációs kísérletek alapján

Láthatjuk, hogy az új rendszer alkalmazása drasztikusan csökkenti a menetteljesítményt és ezáltal a káros anyag kibocsátást is, azonban a továbbiakban meg kell vizsgálnunk, hogy milyen hatással van ez az üzemeltetési költségekre.

4.2. Költségparaméterek vizsgálata

Korábban is vizsgáltuk már a költségeket, akkor csak a beszállítási tranzakciókat vizsgálva is jelentős, 25% körüli költségcsökkenést állapíthattunk meg az új rendszer alkalmazása esetén [30] [31]. Most már azonban lehetőség van a teljes rendszert elemezni a költségek szempontjából is. A 4.5. táblázatban láthatók a jelenlegi rendszerrel kapcsolatos költségek, a 4.6. táblázatban pedig az új rendszerre vonatkozó költségadatok. A táblázatokban az összesített havi üzemeltetési (logisztikai) költségek szerepelnek, költséghelyek szerinti bontásban.

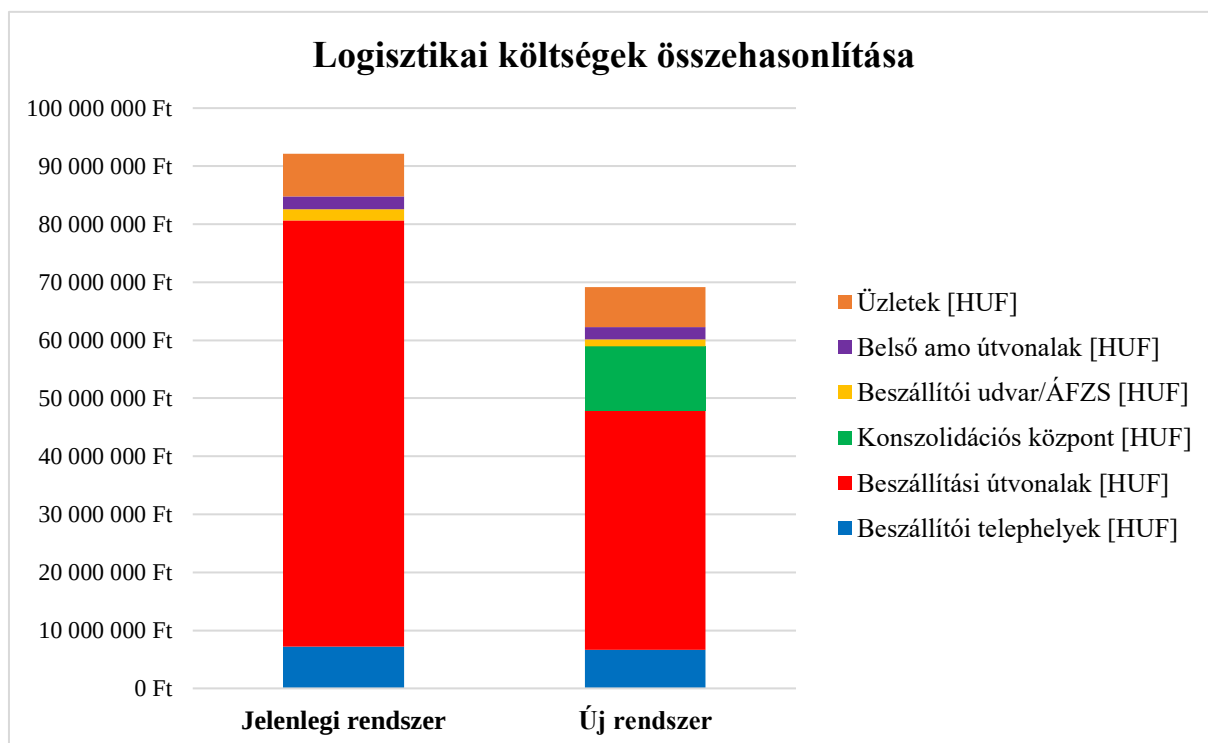
	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás
Beszállítói telephelyek	6 524 487 Ft	7 836 022 Ft	7 209 331 Ft	231 375 Ft
Beszállítási útvonalak	69 026 672 Ft	80 642 984 Ft	73 411 516 Ft	2 144 283 Ft
Beszállítói udvarok	1 772 792 Ft	2 092 767 Ft	1 954 331 Ft	66 168 Ft
Belső anyagmozgatási útvonalak	1 887 286 Ft	2 403 822 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

4.5. táblázat: Havi logisztikai költségek alakulása a jelenlegi rendszerben

Költségek	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás
Beszállítói telephelyek	5 930 620 Ft	7 317 721 Ft	6 658 637 Ft	281 778 Ft
Beszállítási útvonalak (SUP-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-SM)	8 555 597 Ft	10 011 608 Ft	9 264 518 Ft	388 864 Ft
Áruforgalmi zsílepek	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	66 105 196 Ft	72 679 904 Ft	69 168 923 Ft	1 489 407 Ft

4.6. táblázat: Havi logisztikai költségek alakulása az új rendszerben

Látható, hogy a teljes rendszert vizsgálva is a szimulációs futtatások alapján azt kapjuk, hogy jelentősen csökkennek az üzemeltetési költségek (24,9%-os csökkenést kapunk a teljes rendszer esetén is), elsősorban a beszállítási útvonalakon jelentkező 43,8%-os költségcsökkenésnek köszönhetően. Új költséghely az új rendszerben a konszolidációs központ, de az itt keletkező több, mint 10 millió Ft-os költség ellenére is redukálhatók lehetnek a költségek az új rendszer alkalmazásával, mint azt a 4.3. ábra is mutatja.



4.3. ábra: Logisztikai költségek összehasonlítása a szimulációs futtatások alapján

Az összköltség eloszlása a fizikai paraméterek eloszlásához hasonlóan a 4. mellékletben található a jelenlegi és az új rendszerre egyaránt. Láthatjuk, hogy az új rendszer alkalmazása esetén a jelenlegi árumennyiségekkel és az ahhoz becsült fajlagos költségekkel vizsgálódva

jelentős költségsökkenés mutatható ki, azonban érdemes azt is megvizsgálni, hogy mi történik az egyes paraméterek megváltozása esetén.

4.3. Érzékenységvizsgálatok

Hét különböző esetet vizsgáltam meg a következőkben. Mivel modellt modell-lel kell összehasonlítani, így az új rendszer modelljét a jelenlegi rendszer modelljével tudom összevetni (mint ahogy az történt az előbbieken), illetve a modellezett megváltozott jövőbeni rendszert a hasonlóan megváltoztatott jelenlegi rendszer modelljével vetem össze. A vizsgált szcenáriók az alábbiak:

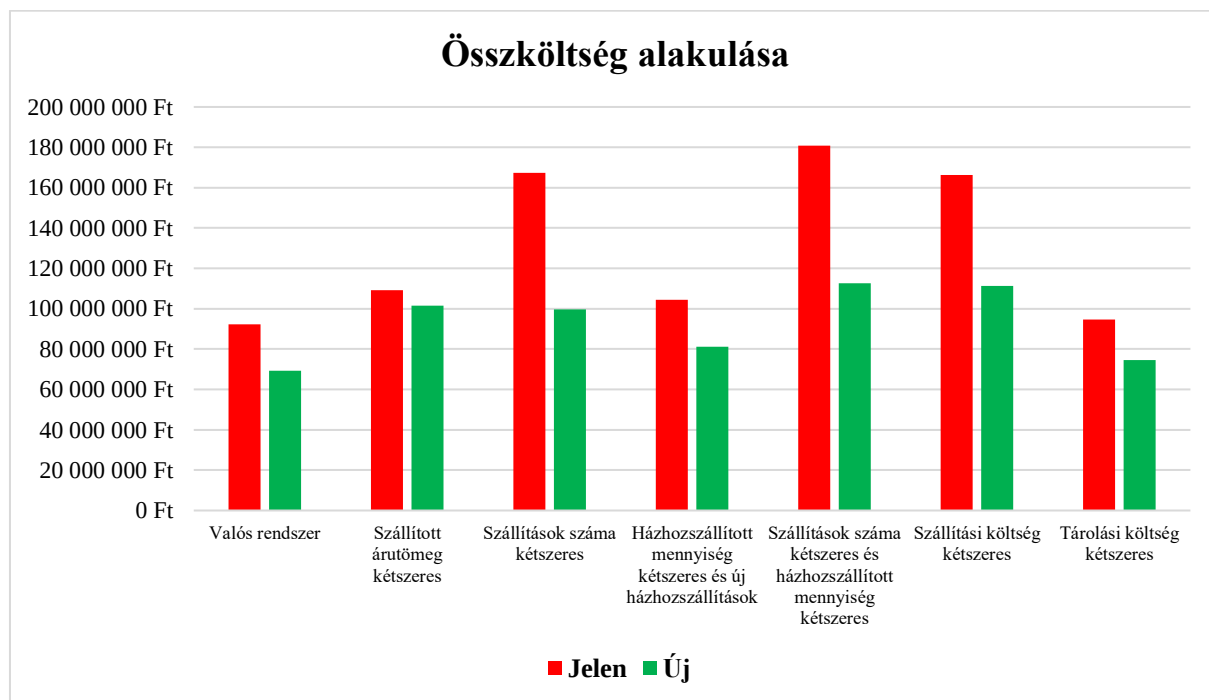
- valós rendszer modellje, az ezzel kapcsolatos eredményeket mutattam be az előbbieken;
- a beszállított árutömeg kétszeresére növekszik, a beszállítások tranzakciók száma alapvetően nem változik, csak ott, ahol a kapacitás azt megkívánja, a többi esetben a kapacitások jobb kihasználása is megvalósul;
- 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 szcenárió 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.

A modell bemeneti adatait a fentiek szerint módosítottam minden esetre és kísérlettervezés után végrehajtottam a szimulációs futtatásokat a megváltoztatott esetekre is,

arra keresve választ, hogy egyes paraméterek hogyan változnak a bemeneti adatok változtatása esetén. A 4.7. táblázat mutatja, hogy az egyes esetekben hogyan alakultak a fő fizikai paraméterek, a 4.4. ábrán pedig az összköltségre vonatkozó adatok.

		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

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



4.4.ábra: Költségek alakulása a vizsgált esetekben

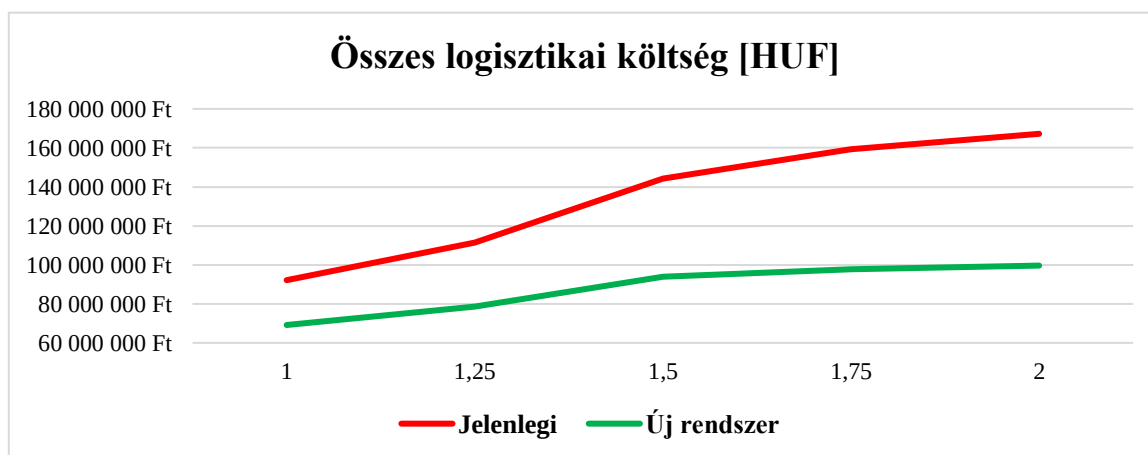
Láthatjuk, hogy a paraméterek változtatása az összköltséget legnagyobb mértékben a szállítások számának kétszeresére növelése (illetve annak kombinált változata), valamint a szállítási költség kétszeresére növelése esetén változtatta meg. Ezen okból kifolyólag ezt a két esetet, valamint a gazdasági tendenciák miatt fontosnak tűnő, a házhozszállított mennyiség arányát növelő esetet részletesen is megvizsgálom, azt keresve, hogy hogyan változnak a paraméterek a mennyiségeket kisebb mértékben növelve, először 1,25-szörösére, majd 1,5-szörösére, 1,75-szörösére és végül 2-szeresre (illetve ahol eddig nem volt házhozszállítás, ott 12,5%-os, 25%-os, 37,5%-os, majd 50%-os valószínűséggel megjelennek új házhozszállítási tranzakciók).

Elsőként a beszállítások számának változtatását vizsgáltam meg, az összköltség változása ekkor a 4.8. táblázatban látható, ahol a Δ érték azt mutatja meg, hogy a csökkenés mértéke mennyit változott az előbbi esethez képest.

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%

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

A 4.5. ábra mutatja azt, hogy az összes költség hogyan alakult ebben az esetben.



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

Láthatjuk, hogy minél több beszállítást kezelünk a rendszerben, annál nagyobb lesz a megtakarítás a szállási költségek csökkenése miatt (minél több árut konszolidálunk, annál jobb kihasználtsággal végezhetők el a konszolidált beszállítások és házhozszállítások), a változás viszont jól láthatóan nem lineáris ebben az esetben, folyamatosan nő a különbség a jelenlegi és

a vizsgált új rendszer összes üzemeltetési költsége között. Amennyiben a beszállítások számát 4-szeresre, illetve 8-szorosra növeljük, a megtakarítás mértéke 51,5%-ig, illetve 56,9%-ig növekszik, ezutóbbi havonta már közel 270 millió Forint megtakarítást jelentene, mint az a 5. melléklet első diagramján látható is.

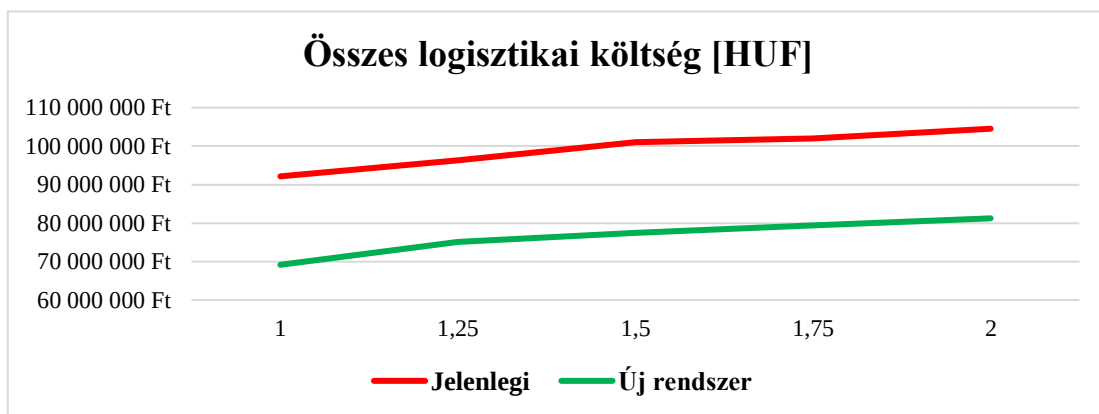
Külön megvizsgáltam a korrelációt a beszállított árumennyiségre vonatkozó szorzó és az összes menetteljesítmény, illetve az összköltség között. Menetteljesítmény esetén $r=0,976$ a jelenlegi rendszerben, az összköltségre nézve pedig $r=0,977$. Az új rendszerben előbbire $r=0,901$, utóbbira pedig $r=0,951$ adódik, azaz minden esetben nagyon erős, pozitív korrelációról beszélhetünk.

Következő a házhozszállítások részarányának növekedésének vizsgálata volt, a 4.9. táblázat mutatja ekkor az összes költség alakulását.

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%

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

A 4.6. ábra mutatja azt, hogy az összes költség hogyan alakult ebben az esetben.

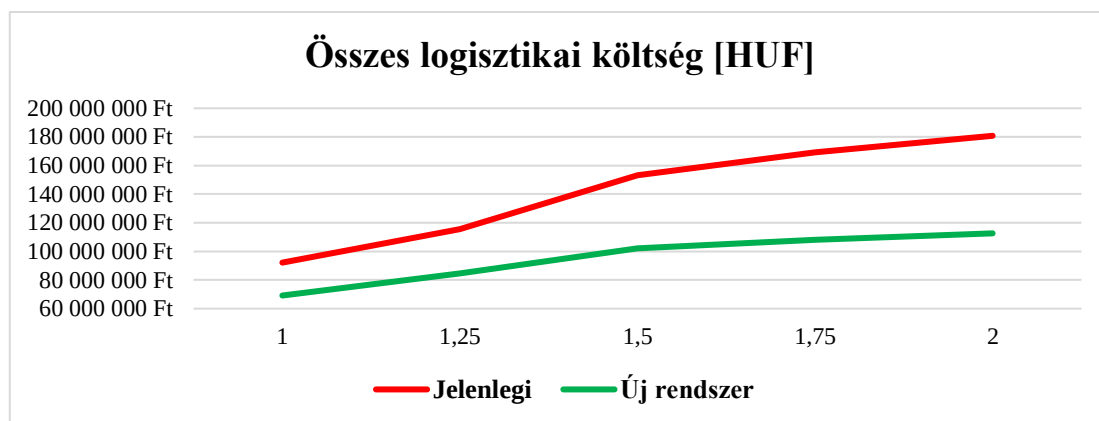


4.6. ábra: Az összes logisztikai költség változása a házhozszállítások részarányának növekedése esetén

Látható, hogy itt is jelentősen nőnek a költségek, azonban nem akkora mértékű növekedésről van szó, mint a beszállított árumennyiség növekedése esetén. Ennek fő indoka az lehet, hogy rövid útvonalakról van szó a házhozszállítások esetén, a házhozszállítandó mennyiség növekedése pedig elsőként a járművek kihasználtságának növekedését jelenti, a

megtett utat pedig csak kisebb mértékben növeli. A jelenlegi rendszerben a szorzó és a menetteljesítmény közötti korrelációra $r=0,965$ -öt, a szorzó és az összköltség közötti korrelációra $r=0,975$ -öt kaptunk, új rendszer esetén pedig $r=0,952$, illetve $r=0,961$ a kapott érték, azaz itt is nagyon erős pozitív korreláció mutatható ki.

A beszállítások számának, valamint a házhozszállítások részarányának növekedését együttesen is megvizsgálhatjuk (egyszerre mindkét paramétert hasonló arányban változtatva), legegyszerűbben a növekmények együttes figyelembevételével. Ennek eredménye a 4.7. ábrán látható, a diagramokat összevetve pedig azt kapjuk, hogy a beszállítások számának növelése a domináns tényező.



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

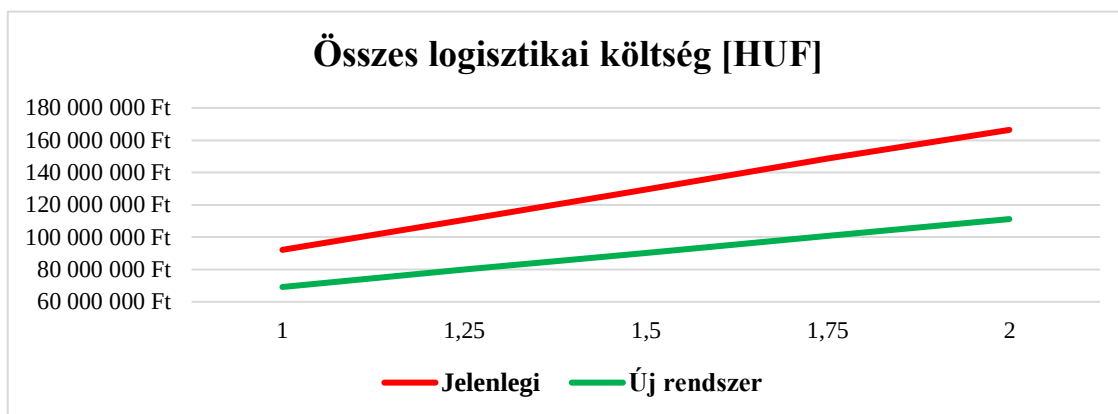
Utolsóként megvizsgáltam azt, hogy mi történik a fajlagos szállítási költség növekedése esetén. Értelmszerűen ebben az esetben a menetteljesítmény nem változik, mivel a volumeneket nem változtattam (bár természetesen a független kísérletek során mindig más és más várható értéket kaptunk). Az összes logisztikai költség alakulása ekkor a 4.10. táblázatban látható.

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%

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

Az összköltség alakulása látható ebben az esetben a 4.8. ábrán is. Látható, hogy a szállítási költség változtatása nagymértékben, de lineárisan változtatja az összköltséget, egyre nagyobb megtakarítást okozva a rendszerben. A szorzótényező és a kapott összköltség között a

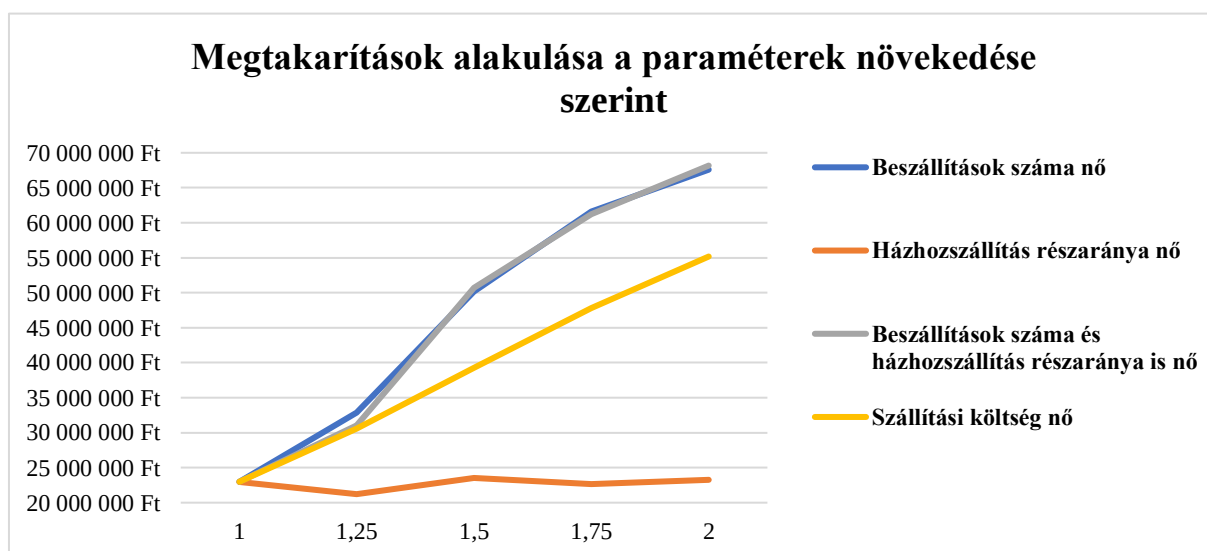
jelenlegi rendszerben $r=0,99994$ a kapott korreláció, az új rendszer esetén $r=0,99996$ -os érték adódik, azaz közel 100%-os a két tényező közötti összefüggés.



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

A szállítási költséget 8-szorosára növelve azt kapjuk, hogy az ebből eredő megtakarítás átlépi a 40%-ot is, ami akkor már összesen több, mint 250 millió forintot jelentene a 5. melléklet 2. diagramján látható módon.

A 4.9. ábra mutatja azt, hogyan alakulnak a megtakarítások a különböző paraméterek növekedésével. Erről az ábráról azt olvashatjuk le, hogy a megtakarítás mértékét főképp az összes szállítási költség alakulása befolyásolja, a beszállítások számának vagy a szállítási költségnek növekedése egyre nagyobb mértékű megtakarítást jelent, a házzhozszállítások részarányának növekedése esetén nem növekszik az elérhető megtakarítás mértéke, az összköltséget azonban az is jelentősen befolyásolja.



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

5. További kutatási irányok

Természetesen számos további feladat maradt a koncentrált igénypont-halmazok logisztikai rendszereinek vizsgálata kapcsán. A fő probléma, hogy a teljes folyamat felépítésével már lassúvá vált az Excel alapú szimulációs modell, ezért a fő feladat az lett, hogy megtaláljuk azt a szimulációs szoftvert, amelyben a matematikai modell alapján felépíthetjük a szimulációs modellt. Ezen felül egyéb közlekedési ágazatok alkalmazását is szeretném részletesebben vizsgálni a továbbiakban.

5.1. Szimulációs szoftver kiválasztása

Mivel az MS Excel alapú szimulációs modell már túl nagyméretűvé, valamint ezáltal lassúvá is vált, ezért következő lépésként meg kell keresni azt a szimulációs szoftvert, amelyben felépíthető lesz a modell úgy, hogy a kísérleteket gyorsan elvégezhessek, és lehetőleg a folyamatok meg is legyen jelenítve. Hat szoftvert vizsgáltam meg ehhez: ezek közül az első az eddig is használt MS Excel, a további szoftverek pedig specifikus szimulációs eszközök, melyek alkalmasak kifejezetten ellátási láncok szimulációjára is. Fő tulajdonságaik az 5.1. táblázatban láthatók.

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

5.1. táblázat: A vizsgált szimulációs eszközök fő tulajdonságai [40] [41] [42] [43] [44]

A kiválasztáshoz a COMBI-módszert választottam, ami egy a különböző tulajdonságokat súlyozottan vizsgáló multikritériumos megoldás. Legfontosabb szempontnak a várható gyorsaságot és az ellátási láncok szimulációját jelöltük ki, illetve fontos még továbbá a szoftver rendelkezésre állása is. A COMBI-módszerrel történő kiválasztási folyamathoz tartozó

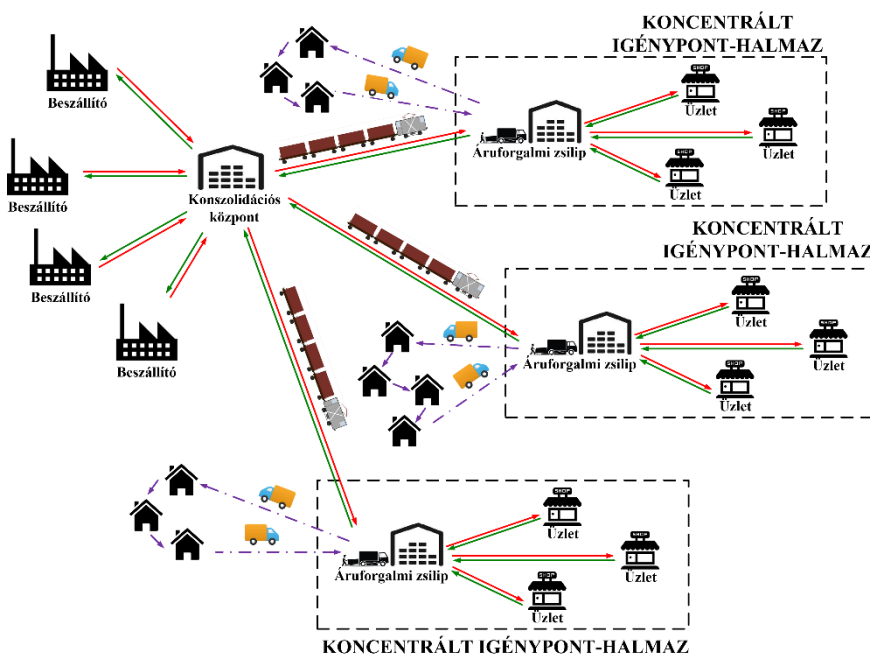
számítások a 6. mellékletben láthatók. Ez alapján végül az AnyLogic szimulációs program került kiválasztásra, amely egy ellátási láncok szimulációjára kifejlesztett modullal is rendelkező (az 5.1. ábrán látható egy ezzel a programmal készült ellátási lánc szimuláció részlete), a folyamatokat két, illetve három dimenzióban is megjeleníteni képes eszköz. Ebben fogjuk következő lépésként felépíteni a szimulációs eszközt a dolgozatban bemutatott matematikai modell alapján.



5.1. ábra: AnyLogic-kal készült ellátási lánc szimuláció részlete

5.2. Alternatív közlekedési módok alkalmazása a koncentrált igénypont-halmazok áruellátási rendszerében

Ezzel a területtel már kisebb mértékben foglalkoztunk a korábbiakban is, azonban részletesebb modellezése is fontos lenne a továbbiakban. Az MS Excel-alapú szimulációs modellben vizsgáltunk villamosokat is, ekkor a konszolidációs központ és a bevásárlóközpontok közötti szakaszon városi közúti vasúton végezzük a szállításokat [27] az 5.2. ábrán látható módon, az ábrán feltüntetve, hogy az egyes szakaszokon milyen járművekkel dolgozunk. Ekkor természetesen szükséges iparvágányok kiépítése is.



5.2. ábra: Villamos alkalmazása a budapesti koncentrált igénypontok áruellátási rendszerében

A korábbi, még csak a beszállításokkal foglalkozó vizsgálatok alapján azt kaptuk, hogy a közúti vasút alkalmazása még nagyobb megtakarításokat tehet lehetővé a menetteljesítmények és kibocsátások terén.

A tömegközlekedési térképeket áttekintve látható, hogy Budapest esetében nagyon jó a közúti vasúti lefedettség, számos villamosvonal van a városban, így 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. Fő feladataim ezzel kapcsolatban a matematikai modellben a villamossal történő áruszállítás esetén különböző részek kidolgozása (elsősorban a konszolidációs központ és a koncentrált igénypont-halmazok közötti teljesítmények és az üzemanyagfelhasználást kiváltó energiafelhasználás kapcsán), a vonatkozó részek ellenőrzése és pontosítása a szimulációs modellben, valamint részletes, költségeket is elemző szimulációs futtatások végrehajtása és kiértékelése lesznek.

A továbbiakban ezen felül érdemes lesz azt is megvizsgálni, hogyan lenne lehetséges a városi vízi utakat, azaz Budapest esetén a Dunát bevonni a koncentrált igénypont-halmazok áruellátási rendszerébe. A Duna jelenleg ebből a szempontból kihasználatlan, azonban számos igényponthalmaz a folyam közelében található, a kikötőpontokról kisebb közúti áruszállító járművekkel 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.

5.3. További feladatok

Természetesen az eddigieken felül is maradnak feladataink a továbbiakra. Fő feladata szimulációs modell teljes felépítése lesz a kiválasztott szimulációs szoftverben, azonban foglalkozni kell majd a Váci utca bevásárlóövezet modellezésével is, amellyel kapcsolatos kutatások jelenleg is folyamatban vannak a korábbiakban bemutatott módon.

Jelenleg így 3 bevásárlóközpontra és 1 bevásárlókövezetre állnak rendelkezésünkre részletes adatok, azonban a koncentrált igénypont-halmazok logisztikai rendszereinek részletes vizsgálatához további adatgyűjtésre is szükség lesz, eddig még nem vizsgált területekről. Szeretnénk megvizsgálni majd 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. Fontos lenne megismerni egy külső városrészen található bevásárlóközpont, valamint egy vidéki városban (pl. Győr vagy Debrecen) található bevásárlóközpont folyamatait, valamint szeretnénk vizsgálni egy másik országban található bevásárlónegyedben is, erre a legjobb megoldás a prágai óvárosi rész vagy a bécsi bevásárlónegyed lehetne majd a későbbiekben.

6. Összefoglalás

2015 nyarán kezdtünk el foglalkozni a budapesti koncentrált igénypontok logisztikai rendszereivel. Akkoriban semmilyen adatunk nem állt rendelkezésre, onnan pedig mára eljutottunk oda, hogy közel 500 üzlet részletes adataival dolgozhatunk. Ezen felül rendelkezésünkre áll egy MS Excel alapú szimulációs modell, valamint egy olyan matematikai modell is, amely lehetővé fogja tenni azt, hogy a szimulációs modellt felépíthessük egy megjelenítésre és ellátási láncok specifikus szimulációjára is alkalmas eszközben. A szimulációs futtatások eredményei által a jövőben nem csak találgatni fogunk a fejlesztésekben rejlő megtakarítási lehetőségek kapcsán, hanem adott feladatra vett adott megoldásra meg is tudjuk mutatni a lehetséges teljesítmény- és költségcsökkenést.

A dolgozatban elsőként bemutattam a korábbi kutatási eredményeinket, majd követően bemutatásra került a részletes matematikai modell, így mind a jelenlegi rendszerre, mind pedig a jövőbeni rendszerre részletesen le lettek írva a fizikai folyamatok és a már a korábbiakban vizsgált költségstruktúra is. Ezt a matematikai modellt képezi le az elmúlt két évben kidolgozott MS Excel alapú szimulációs modell, amely részletes eredményeket szolgáltatott számunkra. A szimulációs futtatások eredményeképpen azt mondhatjuk, hogy a beszállításokat, valamint az azokhoz tartozó házhozszállításokat és göngyölegkezelési folyamatokat vizsgálva, 178 üzlet adataival dolgozva az új, konszolidációs központot és áruforgalmi zsilipeket alkalmazó rendszerben a menetteljesítmény 50,2%-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 a költségadatokat is részletesen megvizsgáltam, azok azt mutatják, hogy 25%-os költségcsökkenést lehetne elérni az új rendszer alkalmazásával, ez 178 üzlet esetén havi több, mint 20 millió forintot jelentene. A költségek kapcsán külön megvizsgáltam azt is, hogy mi történik a bemeneti adatok változása esetén, és azt kaptuk, hogy a beszállítások számának és a szállítási költségeknek a növekedése esetén szignifikánsan nő a megtakarítás mértéke is.

Utolsó lépésként kiválasztottam azt a szimulációs szoftvert, amivel a továbbiakban dolgozni fogunk, ez az AnyLogic ellátási lánc szimulátor lett. Ebben fogom következő lépésként felépíteni a matematikai modell alapján a szimulációs modellt. A kapott eredmények azt mutatják, hogy mindenképpen érdemes ezzel a területtel dolgozni a továbbiakban, mivel óriási megtakarítások érhetők el, az új szimulációs szoftverben pedig a szimulációs modell sokkal hatékonyabban és gyorsabban fog működni várakozásaink szerint, így még pontosabban és szemléletesebben mutathatjuk majd meg a rendszerben rejlő megtakarítási potenciálokat a modell használatával.

Ábrajegyzék

2.1. ábra: A városi igénypontok csoportosítása.....	6
2.2. ábra: A vizsgált bevásárlóközpontok elhelyezkedése Budapesten, Google Maps-on.....	7
2.3. ábra: A vizsgált koncentrált igénypont-halmazok elhelyezkedése Budapesten.....	7
2.4. ábra: Áruszállító villamos Zürichben [18], illetve cargo hajó Utrechtben [15].....	10
2.5. ábra: A padovai Cityporto rendszer működése [20].....	10
2.6. ábra: A koncentrált igénypontok áruellátási rendszerének jelenlegi helyzete.....	12
2.7. ábra: A koncentrált igénypontok áruellátási rendszerének lehetséges megoldása.....	13
2.8. ábra: A városi koncentrált igénypont-halmazokkal kapcsolatos kutatás fő lépései és eredménytermékei.....	14
3.1. ábra: A szimulációs modell napi beszállításgenerátor munkalapja.....	16
3.2. ábra: A szimulációs modell órás beszállításgenerátor munkalapja.....	17
3.3. ábra: Az üzletek (beszállítási tranzakciókhoz tartozó) készletét számító munkalap a jelenlegi rendszer esetén.....	20
3.4. ábra: Inverz logisztikai feladatok előfordulása a vizsgált üzleteknél (N=178).....	22
3.5. ábra: A különböző éves gyakoriságok előfordulása a visszárukezelés esetén (N=19).....	22
3.6. ábra: A göngyölegkezelés során keletkező teljesítményeket modellező munkalap a jelenlegi rendszer esetén.....	23
3.7. ábra: A beszállítási napokat generáló munkalap az új rendszer esetén.....	27
3.8. ábra: A koncentrált igénypontra konszolidáltan kiszállítandó árumennyiséget meghatározó munkalap az új rendszer esetén.....	31
3.9. ábra: Házhozszállítások lebonyolítása a jelenlegi, illetve az új rendszerben.....	33
3.10. ábra: A konszolidált beszállításokat kezelő munkalap az új rendszerben.....	35
4.1. ábra: A fizikai paraméterek összehasonlítása a szimulációs kísérletek alapján.....	43
4.2. ábra: Káros anyag kibocsátás összehasonlítása a szimulációs kísérletek alapján.....	44
4.3. ábra: Logisztikai költségek összehasonlítása a szimulációs futtatások alapján.....	45
4.4. ábra: Költségek alakulása a vizsgált esetekben.....	47
4.5. ábra: Az összes logisztikai költség változása a beszállítások számának növekedése esetén.....	48
4.6. ábra: Az összes logisztikai költség változása a házhozszállítások részarányának növekedése esetén.....	49
4.7. ábra: Az összes logisztikai költség változása a beszállítások számának és a házhozszállítás részarányának együttes növekedése esetén.....	50
4.8. ábra: Az összes logisztikai költség változása a fajlagos szállítási költség növekedése esetén.....	51
4.9. ábra: A megtakarítások alakulása a különböző paraméterek növekedése esetén.....	51
5.1. ábra: AnyLogic-kal készült ellátási lánc szimuláció részlete.....	53
5.2. ábra: Villamos alkalmazása a budapesti koncentrált igénypontok áruellátási rendszerében.....	53

Táblázatjegyzék

3.1. táblázat: A Clarke&Wright VRP-becslő formulák alkalmazása a szimulációs modellben a jelenlegi rendszer esetén.....	25
3.2. táblázat: A Clarke&Wright VRP-becslő formulák alkalmazása a szimulációs modellben az új rendszer esetén.....	39
4.1. táblázat: Fizikai paraméterek a jelenlegi rendszerben.....	40
4.2. táblázat: Fizikai paraméterek az új rendszerben, a beszállítók és a konszolidációs központ között.....	41
4.3. táblázat: Fizikai paraméterek az új rendszerben, a konszolidációs központ és a koncentrált igénypont-halmazok között.....	42
4.4. táblázat: A fő paraméterek alakulása a jelenlegi, illetve az új rendszerben.....	43
4.5. táblázat: Havi logisztikai költségek alakulása a jelenlegi rendszerben.....	44
4.6. táblázat: Havi logisztikai költségek alakulása az új rendszerben.....	45
4.7. táblázat: Kezelt árumennyiség és teljesítmények alakulása a vizsgált esetekben.....	47
4.8. táblázat: Az összes költség változása a beszállítások számának növekedése esetén.....	48
4.9. táblázat: Az összes költség változása a házhozszállítások részarányának növekedése esetén.....	49
4.10. táblázat: Az összes költség változása a fajlagos szállítási költség növekedése esetén.....	50
5.1. táblázat: A vizsgált szimulációs eszközök fő tulajdonságai.....	52

Irodalomjegyzék

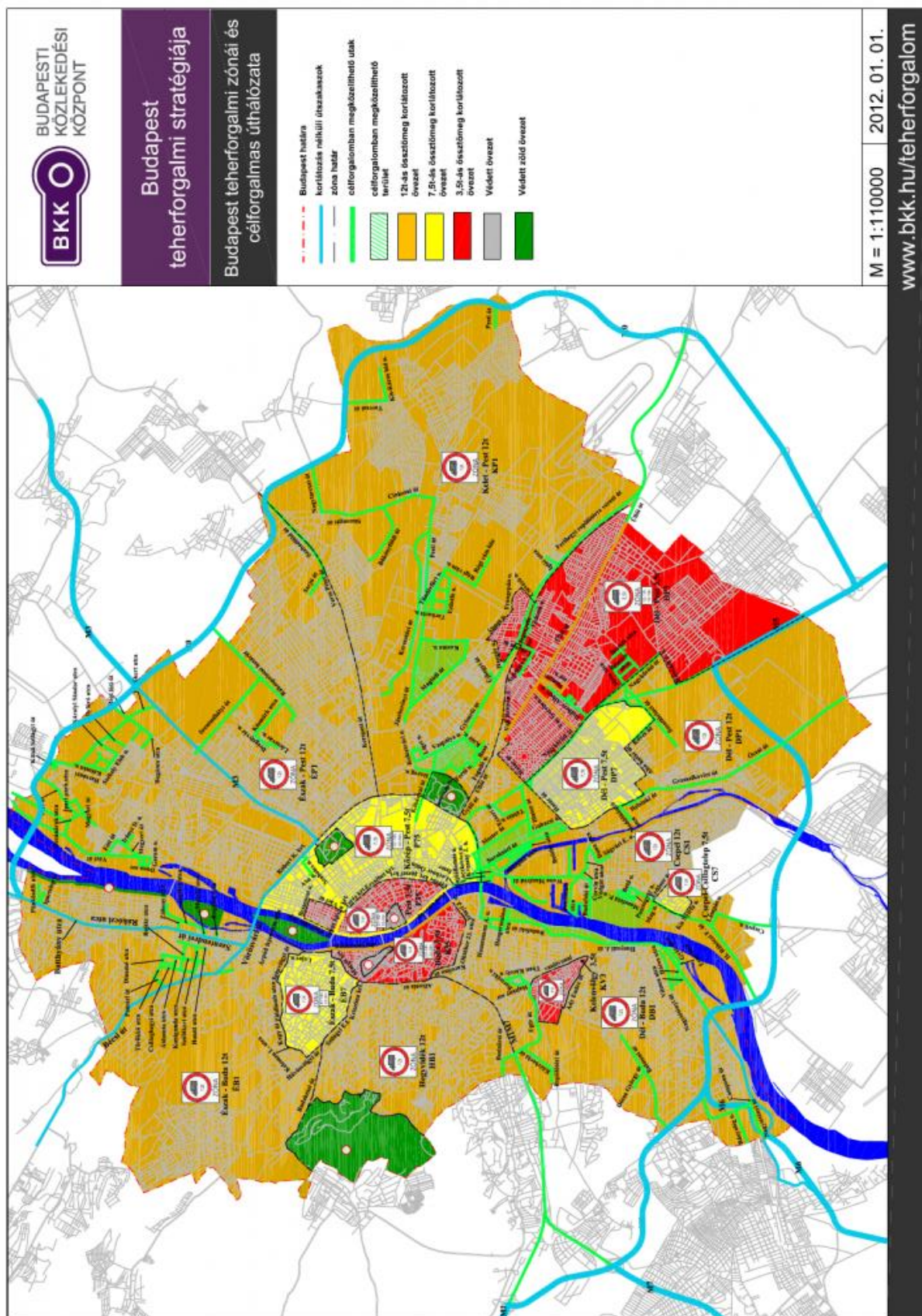
- [1] KSH. **A kiskereskedelmi üzletek számának alakulása** (2017). URL: http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_evkozi/e_okk012.html (Letöltve: 2018. 08. 06.)
- [2] KSH. **Idősoros éves adatok - Belkereskedelem** (2017). URL: http://www.ksh.hu/stadat_eves_4_4 (Letöltve: 2018. 08. 06.)
- [3] KSH. **Bevásárlóközpontok címlistája 2008** (2008). URL: <http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/bevkb/bevkb08.pdf> (Letöltve: 2018. 08. 06.)
- [4] KSH. **Hipermarketek címlistája 2008** (2008). URL: http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/bevkb/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.levego.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. **Fahrplan Cargo-Tram und E-Tram** (2017). URL: https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling/publikationen_broschueren/fahrplan_cargo_tram_und_e_tram.html (Letöltve: 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] *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.)
- [19] *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.)
- [20] *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.)
- [21] *Tim Hapgood. Broadmead Freight Consolidation Scheme* (2009). URL: <https://www.centrellondonfqp.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] *Sárdi Dávid Lajos. Mezozskópikus modell felépítése a bevásárlóközpontok áruellátásnak vizsgálatára* (2016). *BME KJK TDK 2016*. URL: <https://tdk.bme.hu/KSK/DownloadPaper/Mezozskopikus-modell-felepitesi-a-budapesti>
- [27] *Sárdi Dávid Lajos. Mezozskópikus 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>
- [28] *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>
- [29] *Sárdi Dávid Lajos. A budapesti bevásárlóközpontok áruellátásának logisztikai modellezése* (2017). *Logisztikai Híradó XXVII. évfolyam 6. szám (2017)* pp. 20-24.
- [30] *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>

- [31] *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>
- [32] *Losonczy Dávid. Budapest barna zónáinak city logisztikai célú felhasználási lehetőségeinek elemzése* (2013). BME ALRT Szakdolgozat 2013.
- [33] *Mázik Dávid. Áruszállítás Budapest villamos és HÉV hálózataán* (2013). BME ALRT Szakdolgozat 2013.
- [34] *Tóth Szilvia. A közös rakodóhelyek szerepe és fejlesztési lehetőségei a budapesti városellátásban* (2013). BME ALRT Szakdolgozat 2013.
- [35] *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>
- [36] *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>
- [37] *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>
- [38] *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.)
- [39] *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
- [40] *Hvg.hu. Robban az e-kereskedelem* (2012). URL: http://hvg.hu/kkv/20120615_online_kiskereskedelem (Letöltve: 2015. 09. 15.)
- [41] *Simul8. Supply chain and logistics*. URL: <https://www.simul8.com/supply-chain-and-logistics/> (Letöltve: 2018. 10. 10.)
- [42] *AnyLogic. Supply chains*. URL: <https://www.anylogic.com/supply-chains/> (Letöltve: 2018. 10. 10.)
- [43] *FlexSim. Supply chain simulation*. URL: <https://www.flexsim.com/supply-chain-simulation/> (Letöltve: 2018. 10. 10.)
- [44] *Arena Simulation. Supply chain simulation software*. URL: <https://www.arenasimulation.com/industry-solutions> (Letöltve: 2018. 10. 10.)
- [45] *SimChain. SimChain Application*. URL: <https://simchain.net/app.html> (Letöltve: 2018. 10. 10.)

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 (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	$N_i^{\max(day)}$	[db beszállítási tranzakció/nap]
Havi beszállítások maximális száma	$N_i^{\max(month)}$	[db beszállítási tranzakció/hónap]
Havi beszállítási napok száma a konszolidációs központba az új rendszerben	$N_i^{CC(in)}$	[db beszállítási tranzakció/hónap]
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 beszállítási időablakának alsó határa az új rendszerben	$TW_i^{SM(LL)}$	[óra:perc]
Koncentrált igénypont 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}	[%]

Beszállítási adatok		
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 között 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]
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	$eng_type_i^{SUP}$	

Beszállítási adatok		
Beszállító jármű fogyasztása	F_i^{SUP}	[l benzin/100 km] vagy [l gázolaj/100 km] meghajtás típusától függően
Beszállító jármű fajlagos CO kibocsátása	$K_i^{CO(SUP)}$	[g/km]
Beszállító jármű fajlagos CO ₂ kibocsátása	$K_i^{CO2(SUP)}$	[g/km]
Beszállító jármű fajlagos HC kibocsátása	$K_i^{HC(SUP)}$	[g/km]
Beszállító jármű fajlagos NO _x kibocsátása	$K_i^{NOx(SUP)}$	[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	r^{road}	[%]
Beszállítást végző közúti jármű fogyasztása az új rendszerben	$F^{road(CC)}$	[l gázolaj/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	$K^{CO2(CC)}$	[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	$K^{NOx(CC)}$	[g/km]
Beszállítást végző közúti jármű fajlagos PM kibocsátása az új rendszerben	$K^{PM(CC)}$	[g/km]

Szállítandó árura vonatkozó adatok		
Dobozos egységcsomagok száma	n_i^{box}	[db doboz/beszállítás]
Dobozos egységcsomagok várható minimális tömege	$m_i^{box(min)}$	[kg/doboz]
Dobozos egységcsomagok várható maximális tömege	$m_i^{box(max)}$	[kg/doboz]
Dobozos egységcsomagok várható minimális térfogata	$V_i^{box(min)}$	[m ³ /doboz]
Dobozos egységcsomagok várható maximális térfogata	$V_i^{box(max)}$	[m ³ /doboz]
Raklapos egységcsomagok száma	n_i^{pal}	[db raklap/beszállítás]
Raklapos egységcsomagok várható minimális tömege	$m_i^{pal(min)}$	[kg/raklap]
Raklapos egységcsomagok várható maximális tömege	$m_i^{pal(max)}$	[kg/raklap]
Raklapos egységcsomagok várható minimális térfogata	$V_i^{pal(min)}$	[m ³ /raklap]
Raklapos egységcsomagok várható maximális térfogata	$V_i^{pal(max)}$	[m ³ /raklap]
Egyéb típusú egységcsomagok száma	n_i^{oth}	[db/beszállítás]
Egyéb típusú egységcsomagok várható minimális tömege	$m_i^{oth(min)}$	[kg]
Egyéb típusú egységcsomagok várható maximális tömege	$m_i^{oth(max)}$	[kg]
Egyéb típusú egységcsomagok várható minimális térfogata	$V_i^{oth(min)}$	[m ³]
Egyéb típusú egységcsomagok 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 ³]
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}	[db házhozszállítás/hónap]
Házhozszállítás során kiszorgálandó igénypontok napi száma	$N_i^{hd_dem}$	[db házhozszállítási igény/nap]
Házhozszállítás során kiszorgálandó igénypontok minimális távolsága a koncentrált igényponttól	$s_i^{hd_LL}$	[km]
Házhozszállítás során kiszorgálandó igénypontok maximális távolsága a koncentrált igényponttól	$s_i^{hd_UL}$	[km]
Kiszorgálási idő a házhozszállítás során	t_i^{hd}	[h]
Házhozszállítással kiszorgált terület	A_i^{hd}	[m ²]
Házhozszállítást végző jármű típusa méret szerint	$veh_type_i^{hd}$	
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 benzin/100 km] vagy [l gázolaj/100 km] meghajtás típusától függően
Házhozszállítást végző jármű fajlagos CO kibocsátása	$K_i^{CO(hd)}$	[g/km]

Inverz logisztikai folyamatokkal és házhozszállítással kapcsolatos adatok		
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	$C^{hd_CC(V)}$	[m ³]
Házhozszállítást végző jármű kihasználtsági biztonsági tényezője az új rendszerben	$r^{hd_CC(V)}$	[%]
Házhozszállítást végző jármű fogyasztása az új rendszerben	F^{hd_CC}	[l gázolaj/100 km]
Házhozszállítást végző jármű fajlagos CO kibocsátása az új rendszerben	$K^{CO(hd_CC)}$	[g/km]
Házhozszállítást végző jármű fajlagos CO ₂ kibocsátása az új rendszerben	$K^{CO_2(hd_CC)}$	[g/km]
Házhozszállítást végző jármű fajlagos HC kibocsátása az új rendszerben	$K^{HC(hd_CC)}$	[g/km]
Házhozszállítást végző jármű fajlagos NO _x kibocsátása az új rendszerben	$K^{NO_x(hd_CC)}$	[g/km]
Házhozszállítást végző jármű fajlagos PM kibocsátása az új rendszerben	$K^{PM(hd_CC)}$	[g/km]
Anyagmozgatási időszükséglettel kapcsolatos adatok		
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]

Anyagmozgatási időszükséglettel kapcsolatos adatok		
Konszolidációs ciklusidő a konszolidációs központban	$t_i^{cons(CC)}$	[min]
Árukezelési ciklusidő a koncentrált igényponthon	$t_i^{load(CDP)}$	[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 a koncentrált igényponti beszállítói udvar, illetve áruforgalmi zsilip 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]
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]

3. A költségstruktúra matematikai modelljének kivonata

A költségelemeket háromdimenziós struktúrában, alapvetően a folyamatok szerint írtuk fel. Az indexelés logikája az alábbi: első index minden esetben a vizsgált folyamat (R: rakodás, S: szállítás, T: tárolás, I: intralogisztikai operáció, A: adminisztráció), második index a vállalat azonosítója (jelen esetben az i., a rendszerben szerepet vállaló vállalatra írtuk fel a költségeket), harmadik index pedig a költséghely azonosítója (jelen esetben a j. adott típusú költséghelyre írtuk fel a költségeket).

A jelenlegi rendszerben a költséghelyek a beszállítói telephelyek, a beszállítási útvonalak (melyek egyben a házhozszállítási útvonalak is), a koncentrált igénypontok logisztikai területei, a belső anyagmozgatási útvonalak és az üzletek, az új rendszerben a beszállítási útvonal két szakaszra osztódik, beékelődik közéjük a konszolidációs központ, valamint a logisztikai területeket áruforgalmi zsilip váltja ki.

A következőkben a matematikai formulákat általános alakjukban mutatjuk be, azonban egyes elemei nem szerepelnek minden különböző típusú költséghelynél, pl. konszolidációt csak a konszolidációs központban értelmezünk vagy a beszállítási útvonalon nem történik tárolás.

Elsőként a rakodási költséget írjuk 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 logisztikai területin (áruforgalmi zsilipénél) és az üzletben (illetve hozzá tartozó raktárban). Az i. vállalat rakodási költsége a j. költséghelyen:

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

Az i. vállalat összes rakodási költsége az általa használt N db k. típusú költséghelyen:

$$C_{k,R,i} = \sum_{j=1}^N C_{R,i,j}$$

Következő a szállítási költség, melyet csak a beszállítási útvonalakon értelmezünk. A szállítási költség felbontható futásteljesítményarányos 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 megkülönböztetjük 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/kiállások száma, illetve

pénzegység/távolságegység). Az i. vállalat menetteljesítményarányos szállítási költsége a j. beszállítási útvonalon:

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

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:

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

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

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

Következő a tárolási költség, amely a beszállítói telephelyeken, a konszolidációs központban, a koncentrált igénypont logisztikai területén (áruforgalmi zsilipében), illetve az üzletekben is fellép. Ez öt részre bontható fel: betárolási költség, kitárolási költség, tárolási költség, a készletben lekötött tőkére és megrendeléskezelési költség, természetesen minden esetben figyelembevéve az inverz logisztikai feladat során kezelendő árumennyiséget is. M jelöli a kezelt árumennyiséget (tömeg egységben), a hozzájuk tartozó c az adott alfolymathoz tartozó fajlagos költséget (pénzegység/tömeg egység), N a megrendelési tranzakciók száma, c_{mr} pedig a megrendeléskezelés fajlagos költsége (pénzegység/megrendelés). Az i. vállalat összes tárolási költsége a j. költség helyen:

$$C_{T,i,j} = c_{in_{T,i,j}} \cdot M_{in_{T,i,j}} + c_{out_{T,i,j}} \cdot M_{out_{T,i,j}} + c_{t_{T,i,j}} \cdot M_{t_{T,i,j}} + c_{\lambda_{T,i,j}} \cdot M_{stock_{T,i,j}} + c_{ord_{T,i,j}} \cdot N_{T,i,j}$$

Az i. vállalat összes tárolási költsége ekkor az általa használt N db k. típusú költség helyen:

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

Negyedik folyamat típus az intralogisztikai operáció. Ezen belül megkülönböztetünk kézi és gépi anyagmozgatást, kommissiózást és konszolidációt. Intralogisztikai operáció költségét értelmezzük a beszállítói telephelyeken, a konszolidációs központban, a koncentrált igénypont

logisztikai területein (áruforgalmi zsilipnél), a koncentrált igényponti belső anyagmozgatási útvonalakon és az üzletekben. Kommissiózást nem értelmezünk a koncentrált igénypont logisztikai területein és a belső anyagmozgatási útvonalakon, konszolidációt pedig csak a konszolidációs központban értelmezünk. T jelöli az adott feladattal töltött időt (időegységben), c pedig a hozzátartozó fajlagos költséget (pénzegység/időegység). Az i. vállalat összes intralogisztikai operációs költsége a j. költséghelyen:

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

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 folyamat típus az adminisztráció, melyet a beszállítási és anyagmozgatási útvonalak kivételével minden költséghelyen értelmezünk. 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:

$$C_{I,i} = C_{A,i} = \sum_{j=1}^N C_{A,i,j}$$

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

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

Ezeket összegezve (K db különböző típusú költséghelyet különböztetve meg) megkapjuk az i. vállalat összes költségét az adott koncentrált igényponton:

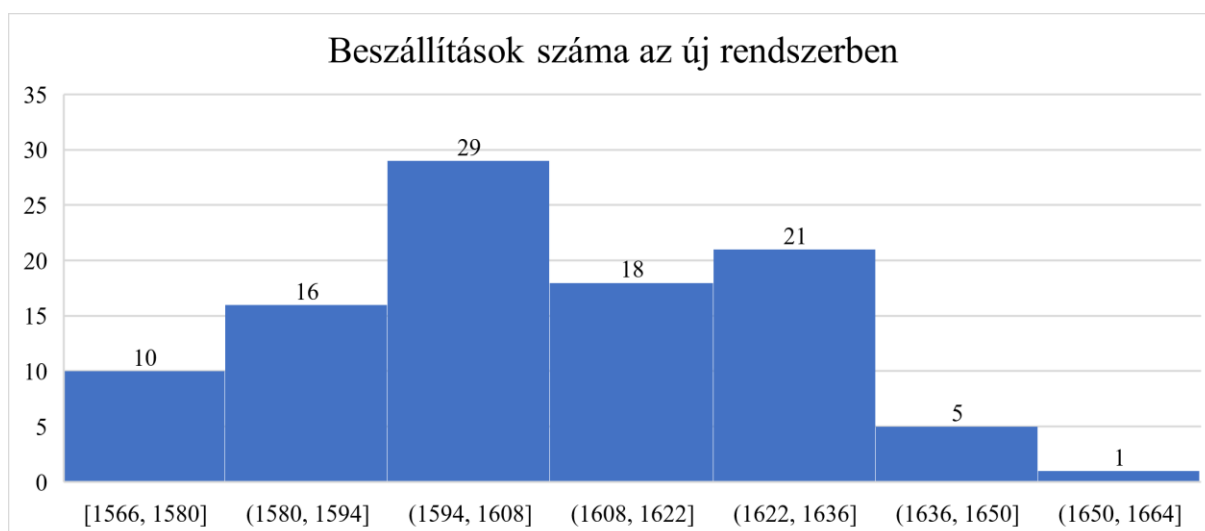
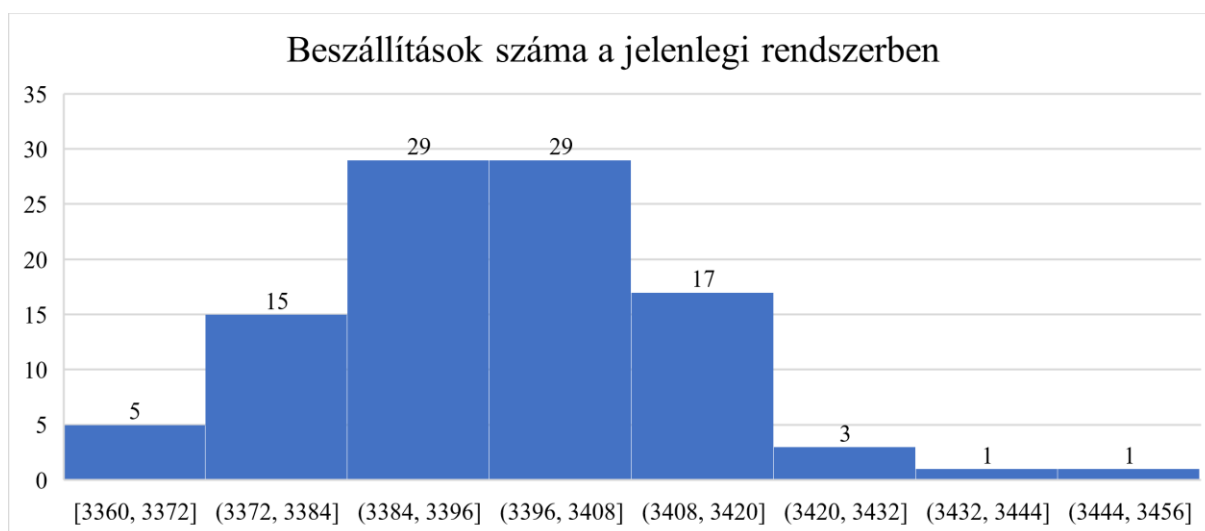
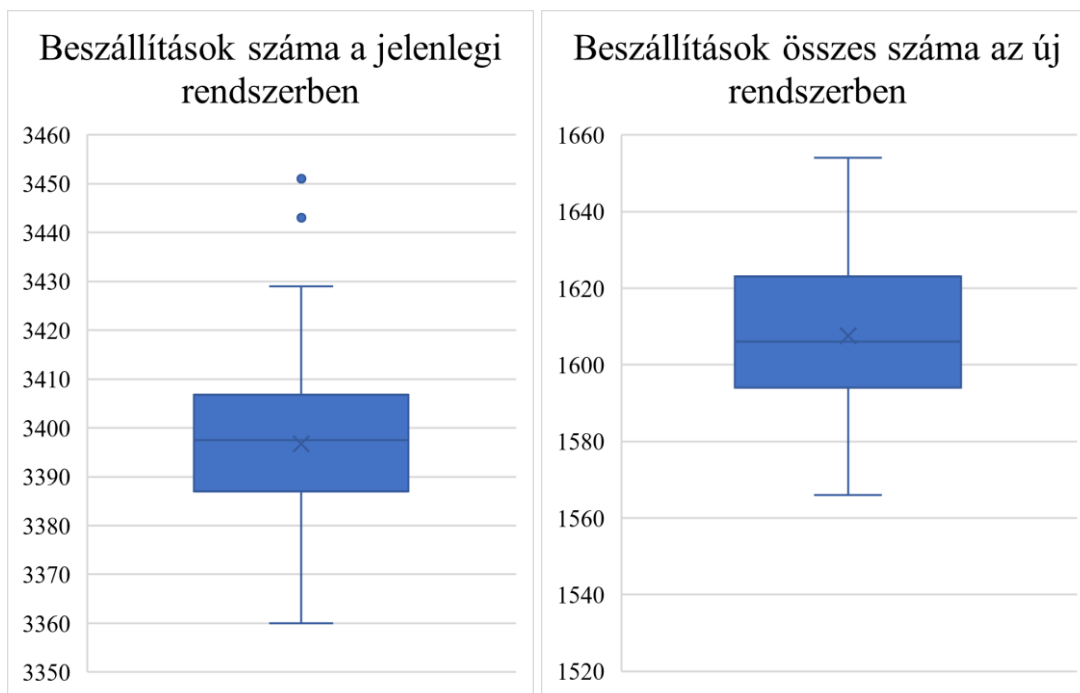
$$C_i = \sum_{k=1}^K C_{k,i}$$

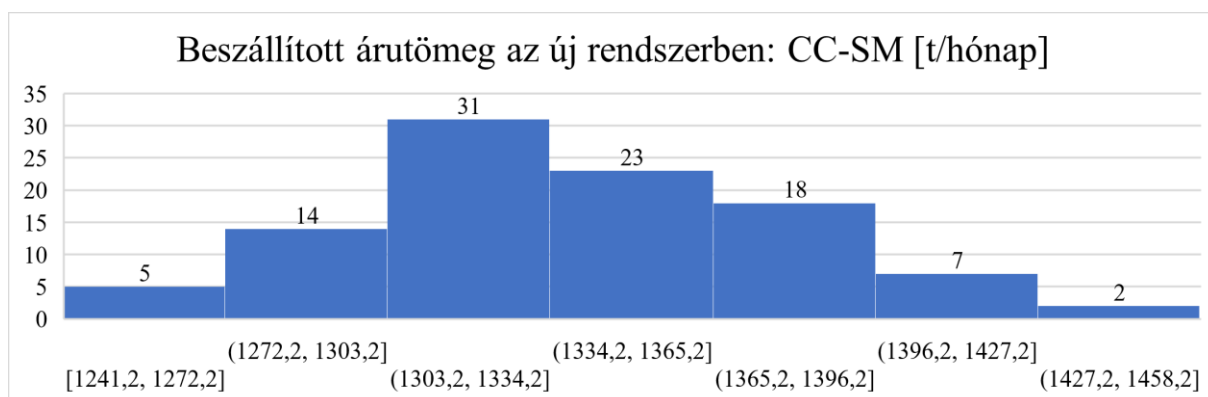
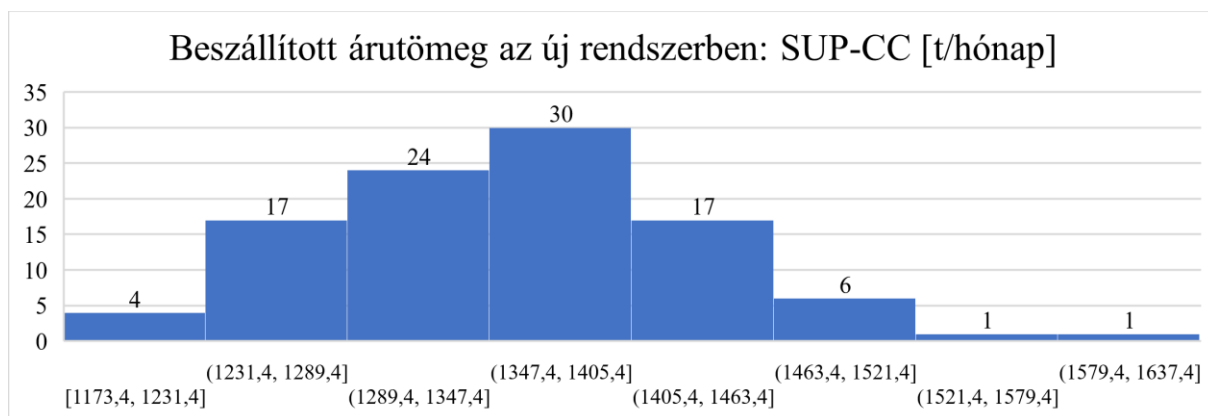
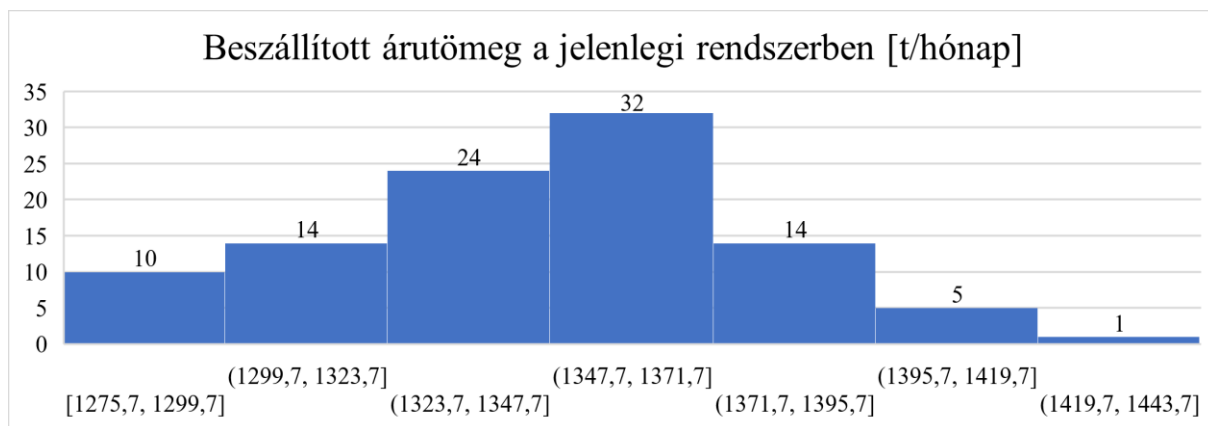
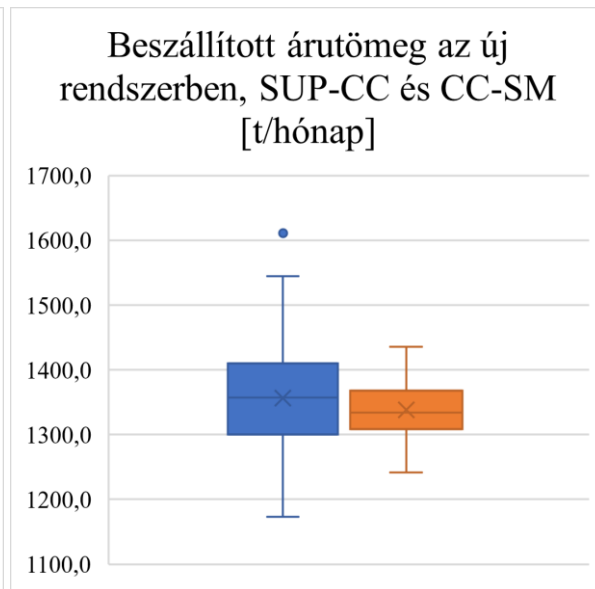
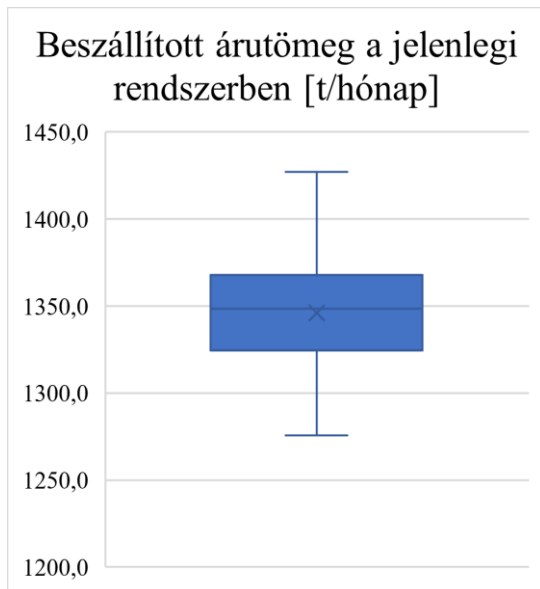
Az egyes résztvevő vállalatok költségeit összegezve pedig megkapjuk az adott koncentrált igénypont teljes logisztikai rendszerére vonatkozó összes költséget:

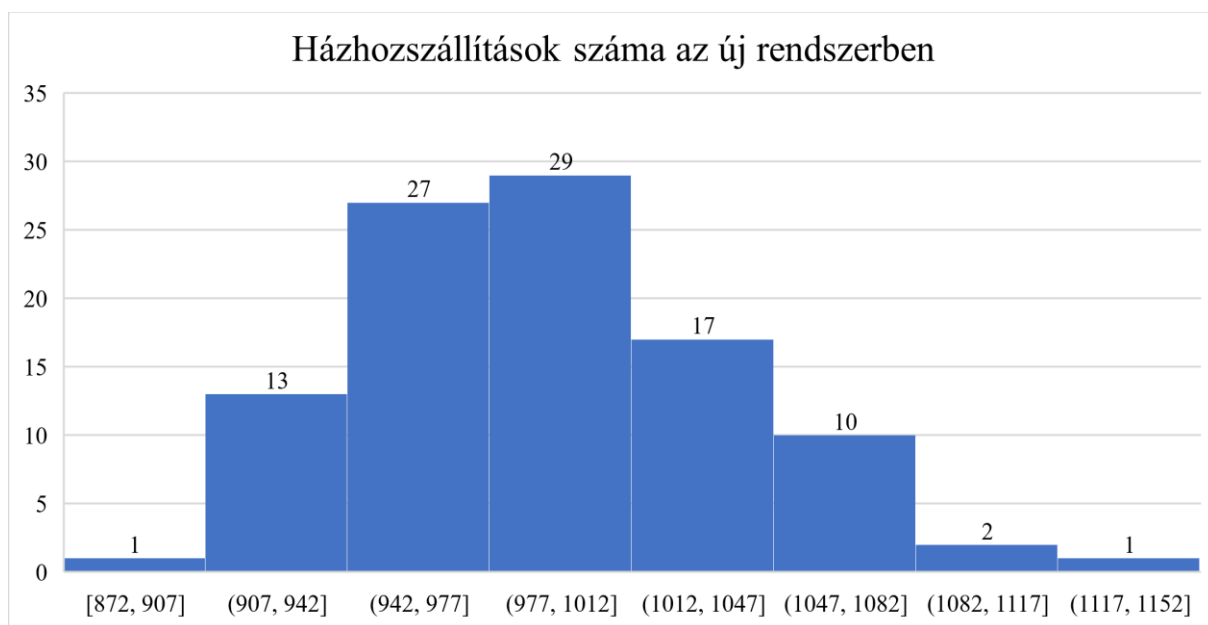
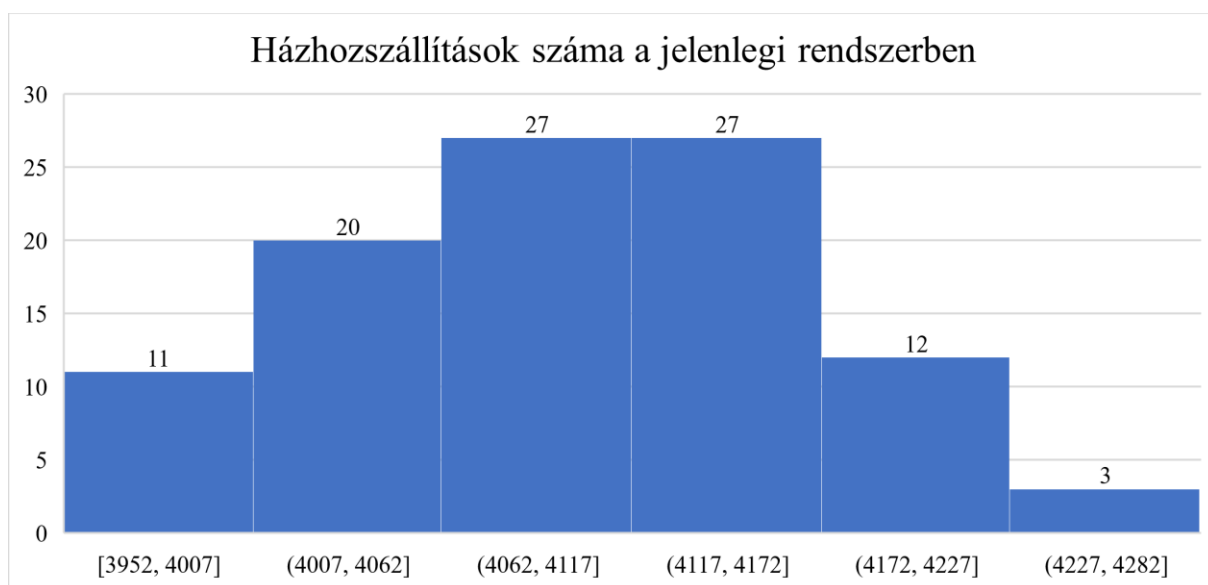
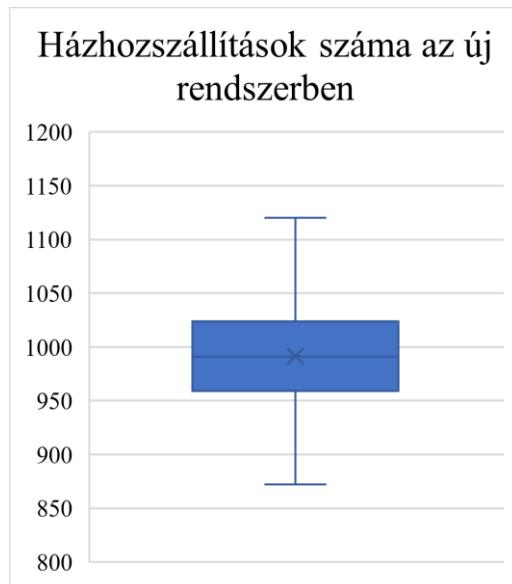
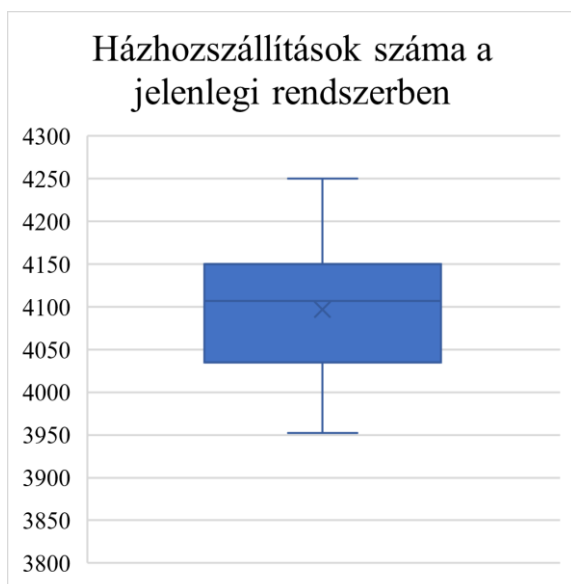
$$C_{CDP} = \sum_{i=1}^p C_i$$

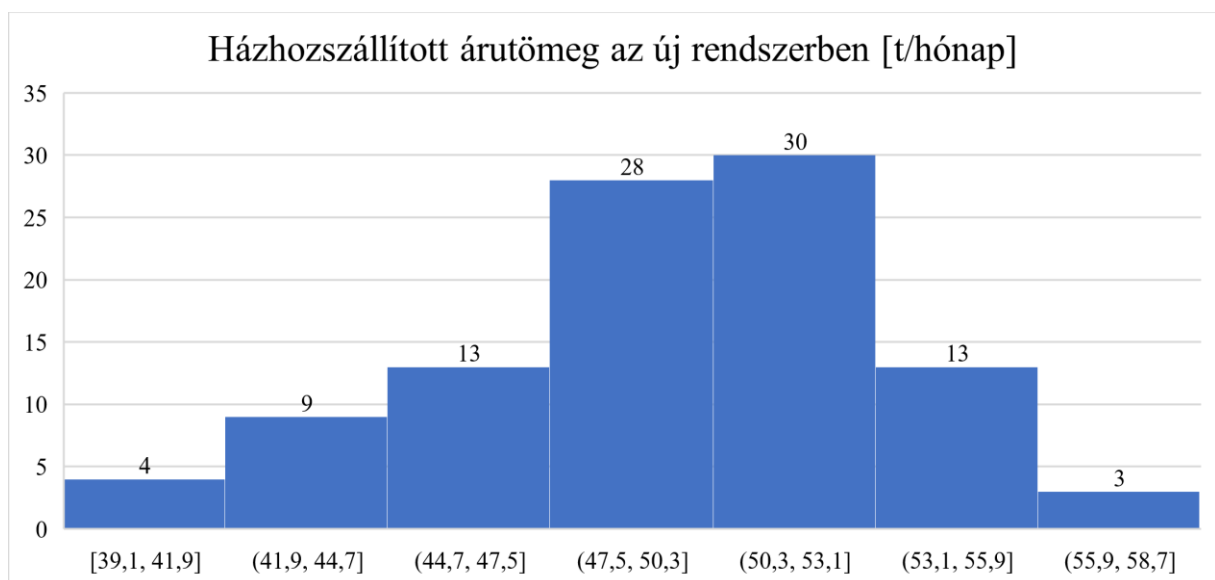
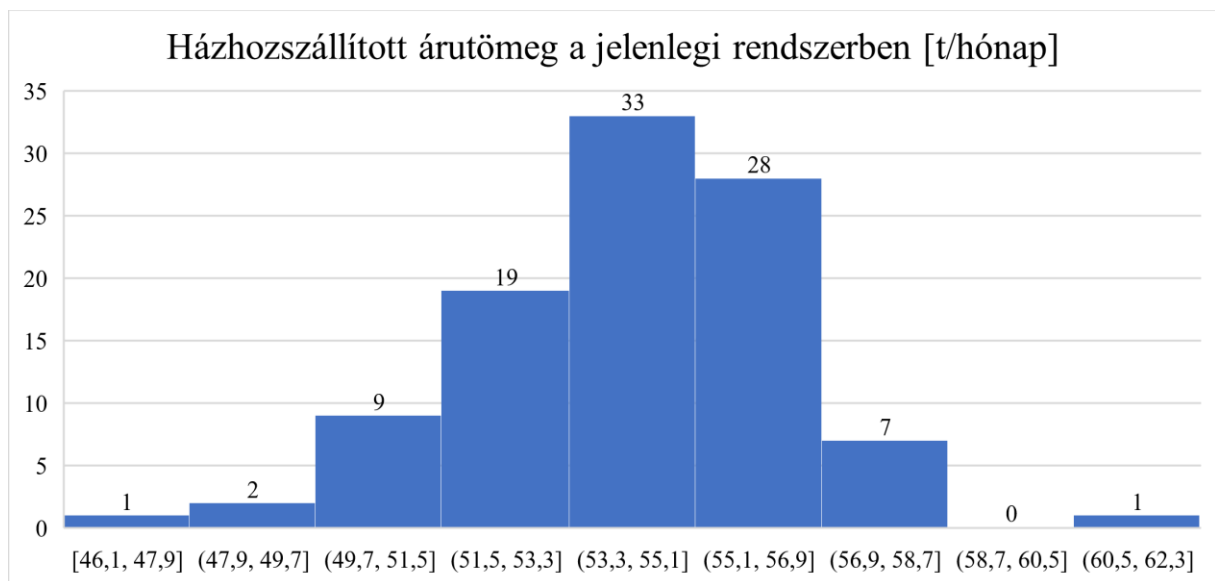
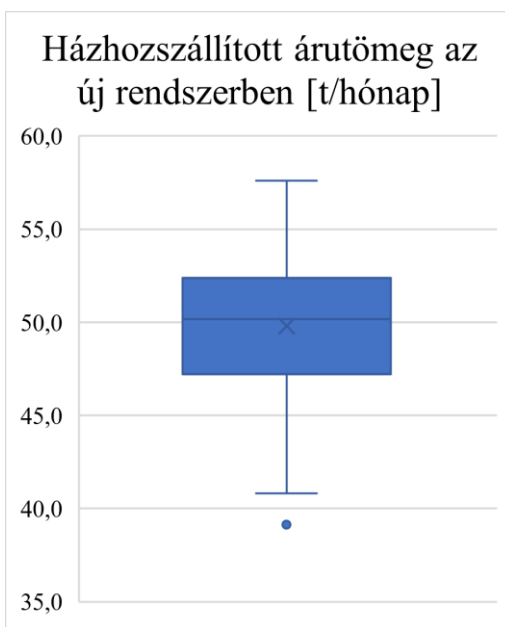
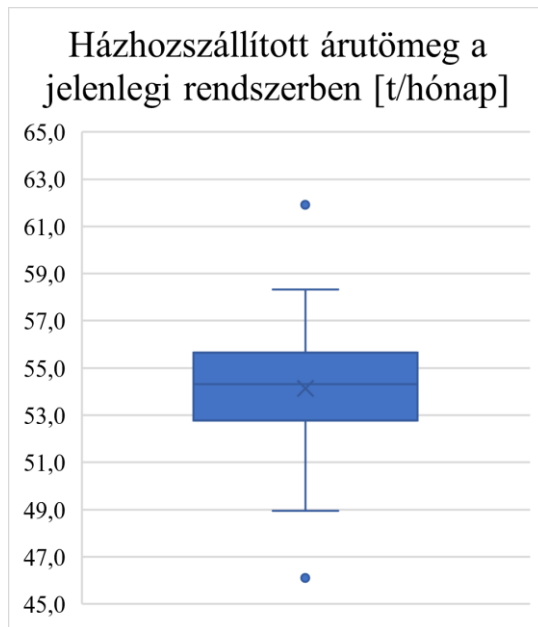
Így előállt a költségstruktúra matematikai modellje, amellyel a jelenlegi és a felvázolt új logisztikai rendszer is leírható mezoszkópikus szinten. Ezt az MS Excel alapú szimulációs modellhez illesztve végrehajthatóvá válnak a költségekkel kapcsolatos számítások és összehasonlíthatjuk a két rendszerkonceptiót. A költségek számítása során becsült költségekkel dolgoztunk [30], mivel nem álltak rendelkezésünkre valós költségadatok.

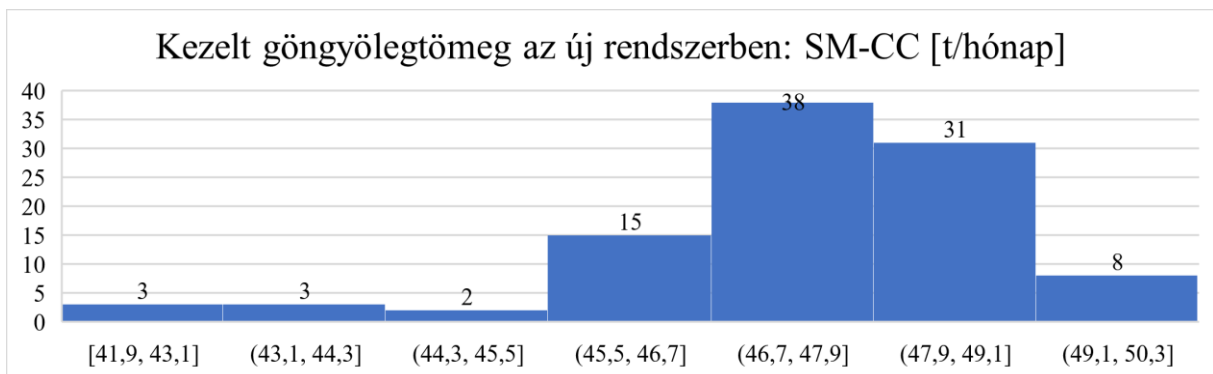
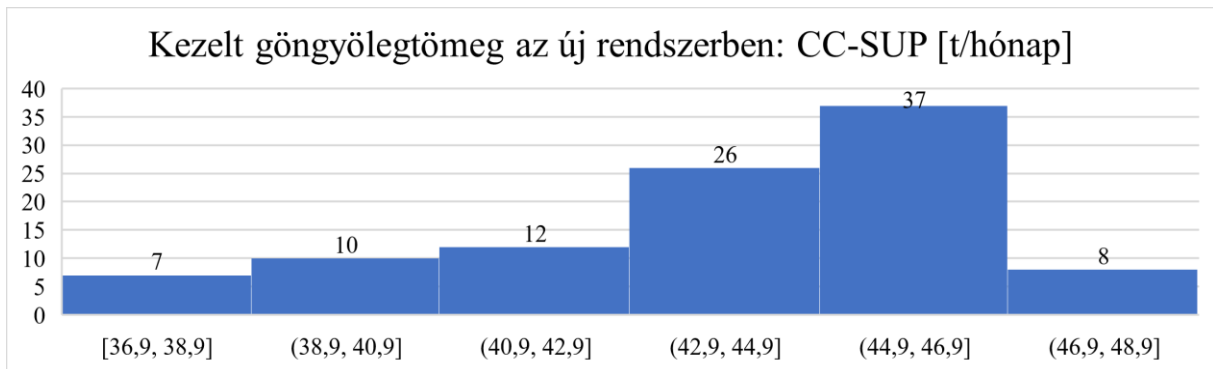
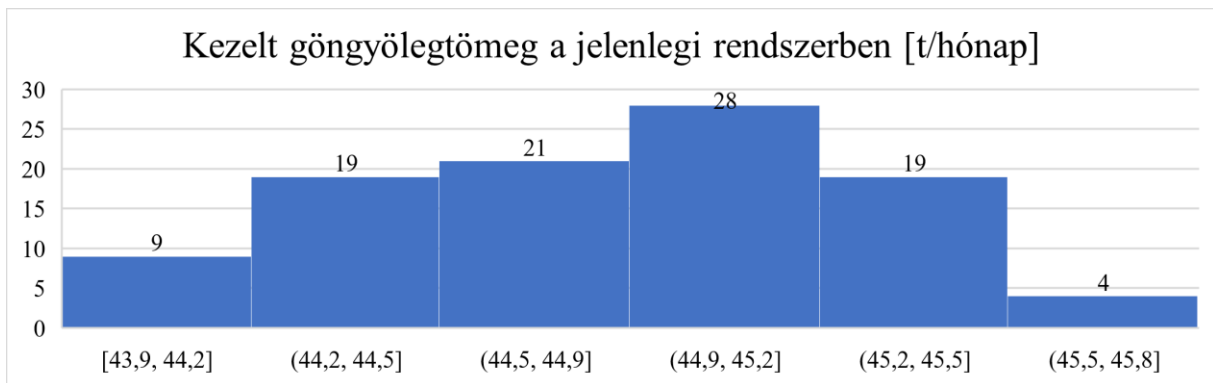
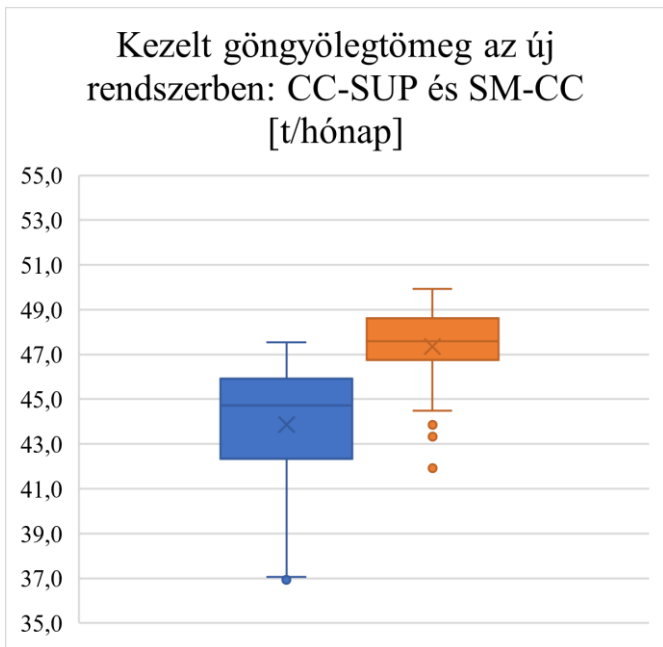
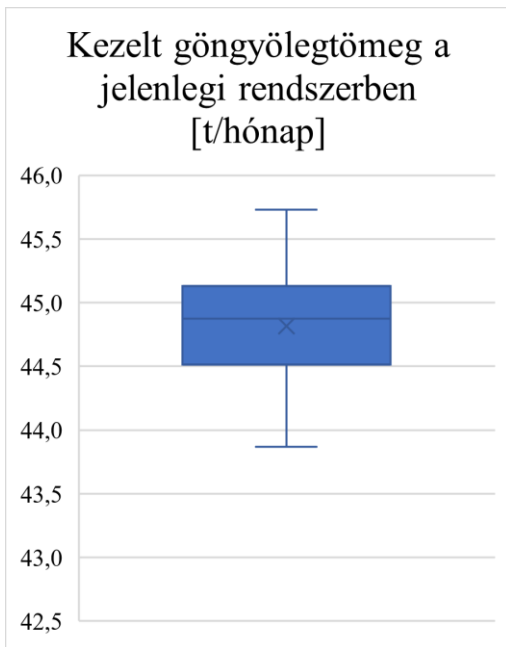
4. A legfontosabb fizikai és költségparaméterek eloszlásai

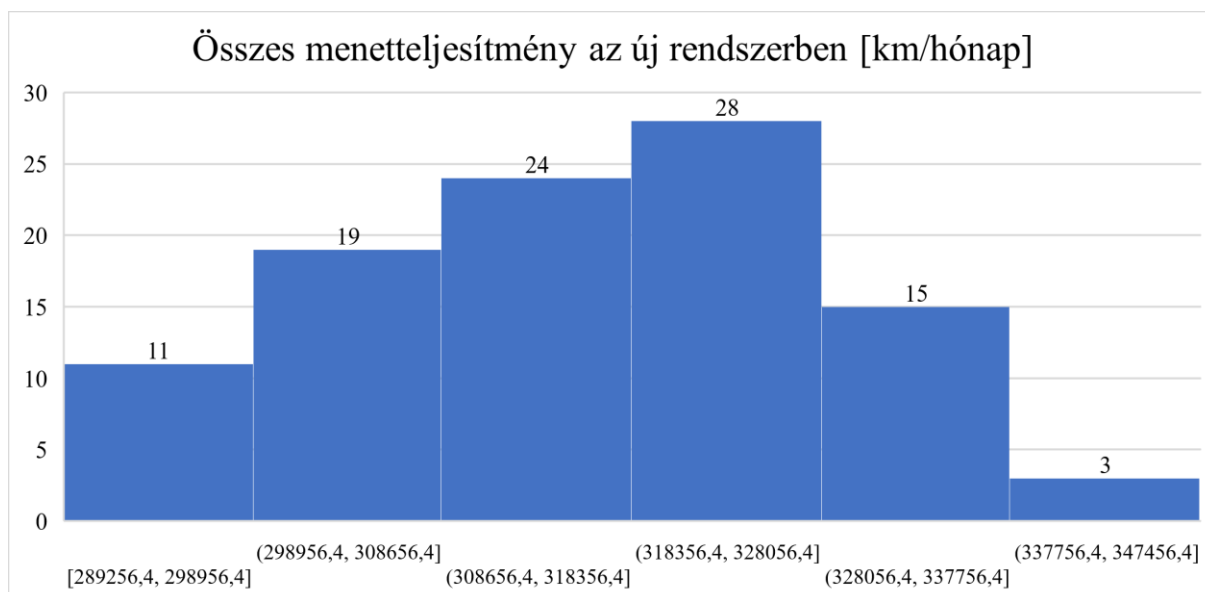
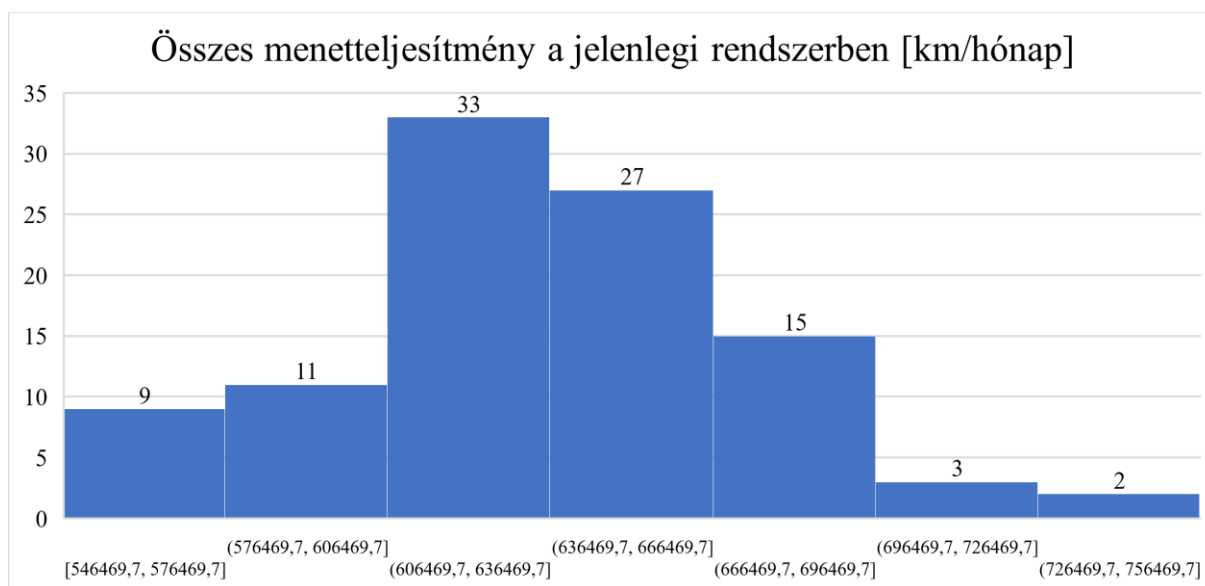
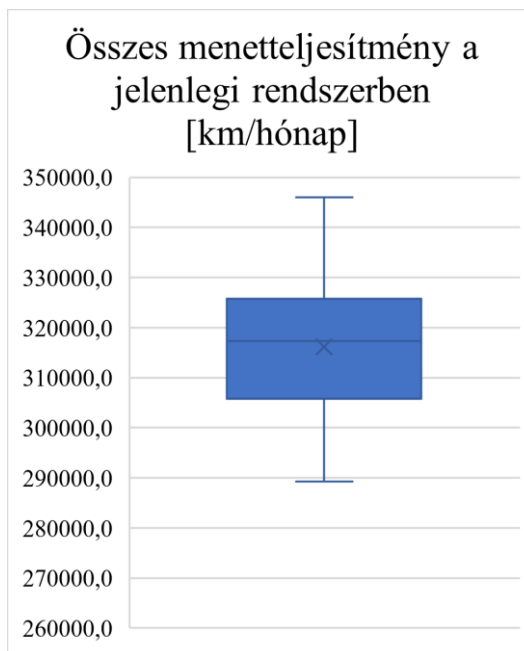
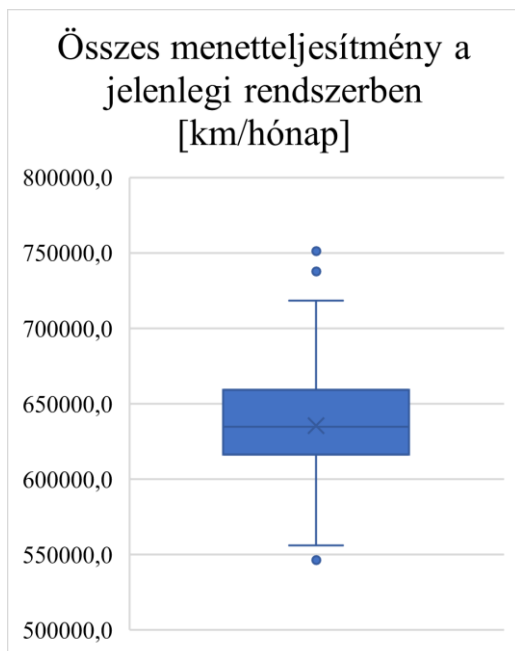


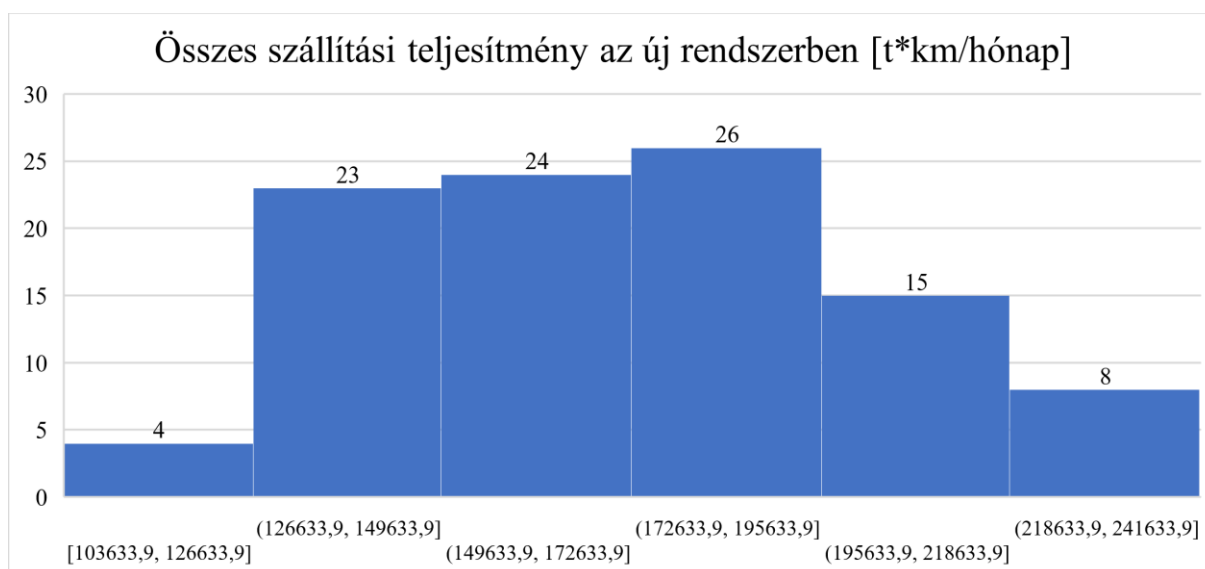
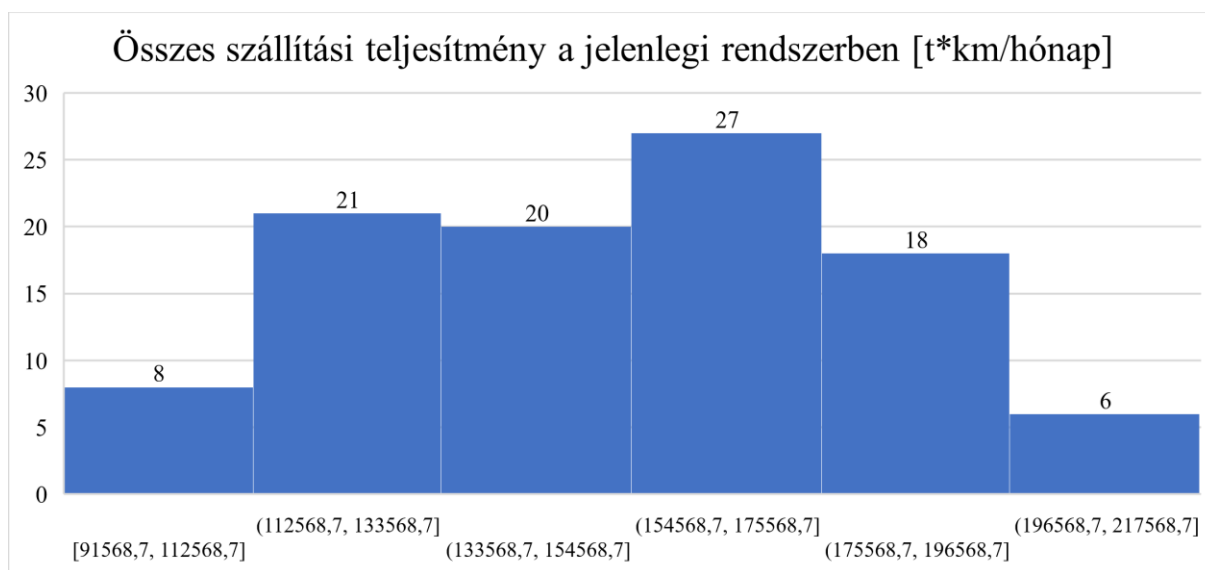
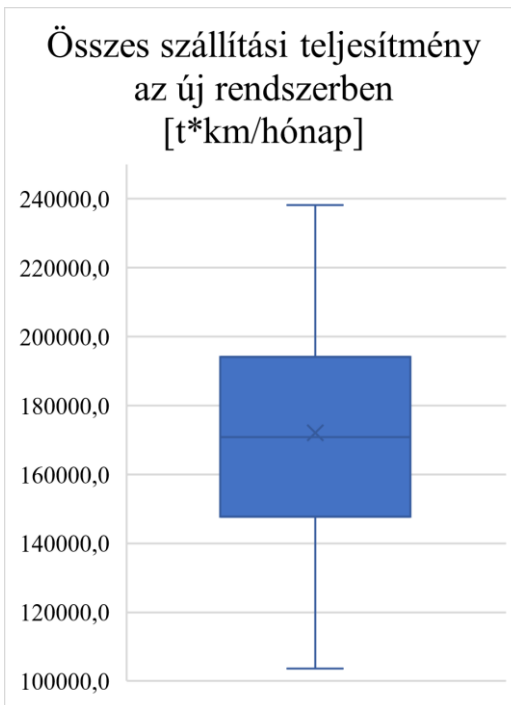
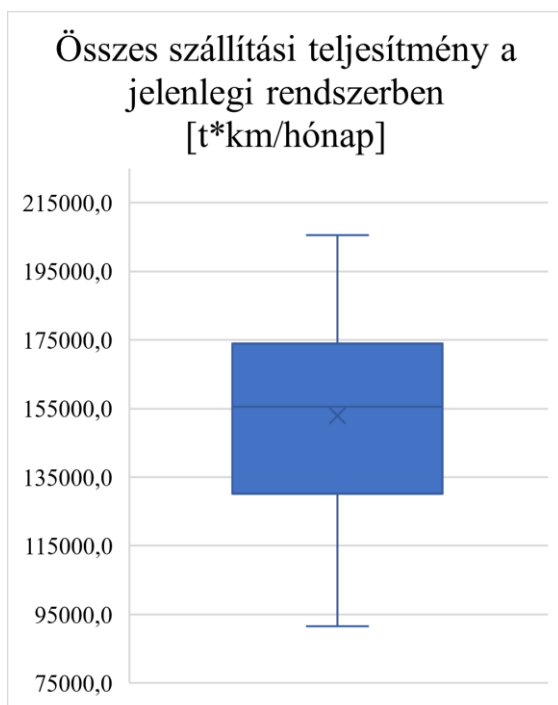


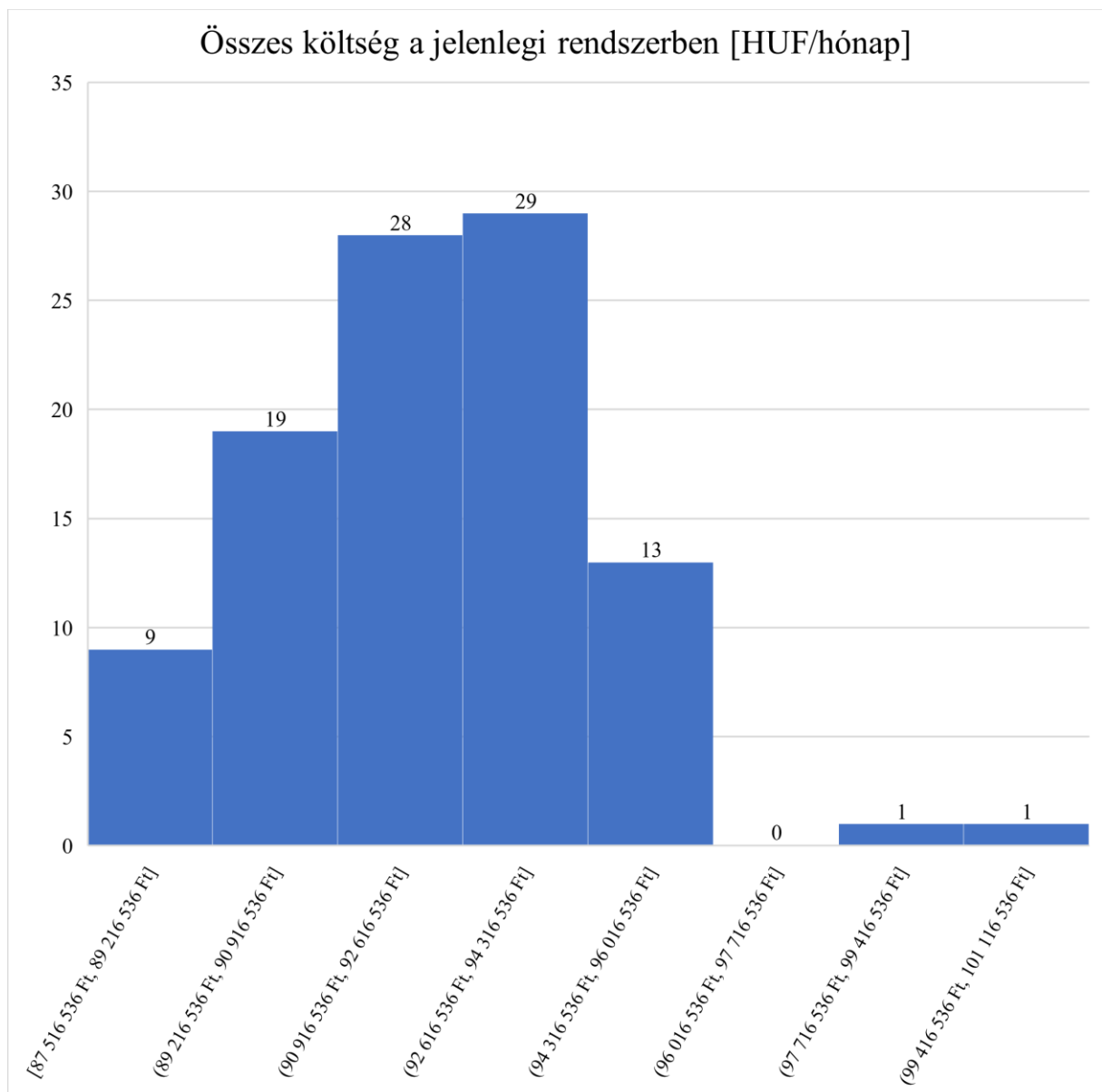
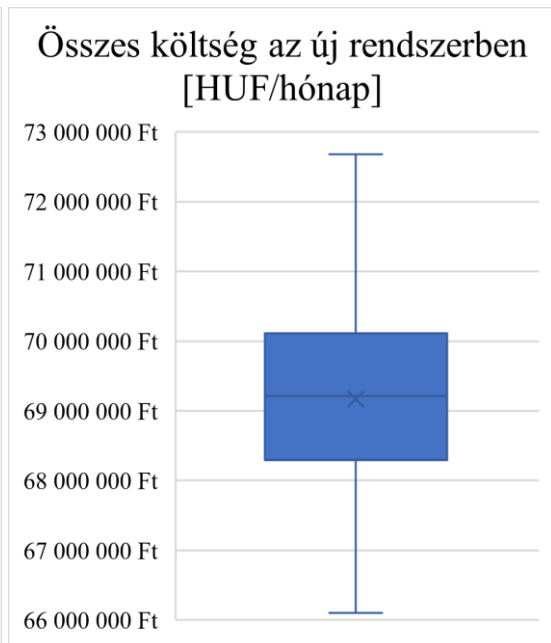
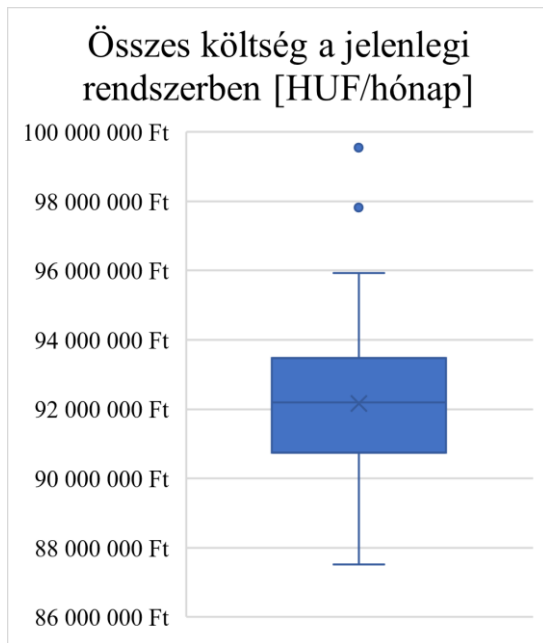


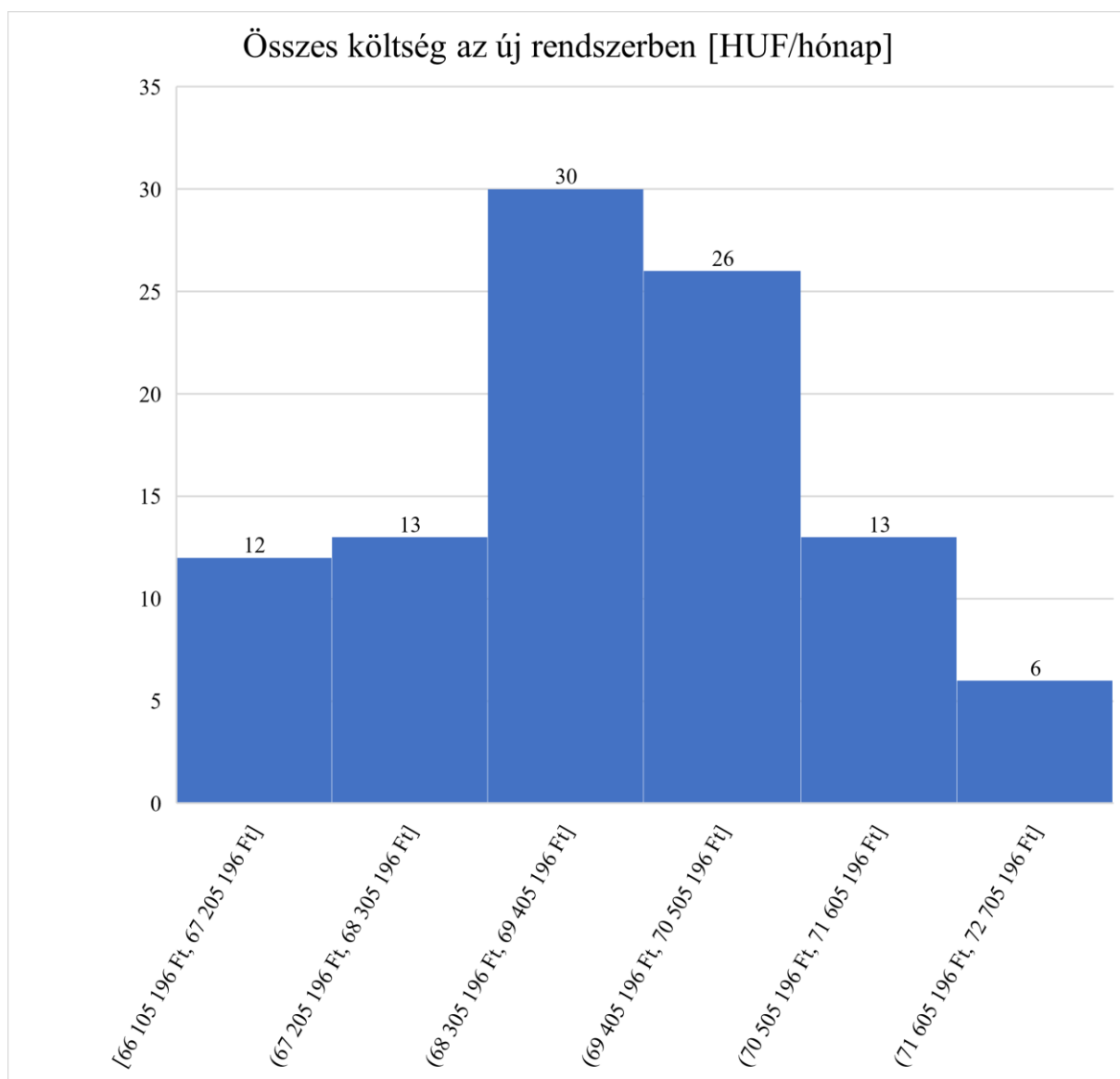












5. Az összes költség változása bizonyos paraméterek növelése esetén

5.1. Az összes költség változása a beszállítások számának növelése esetén



5.2. Az összes költség változása a szállítási költség növekedése esetén



6. Szimulációs szoftver kiválasztása COMBI-módszerrel

	Elérhe- tőség	Gyorsa- ság	Ellátási lánc	Megjele- nítés	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

1. táblázat: Súlyszámok meghatározása COMBI-módszerrel

	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

2. táblázat: A vizsgált szimulációs szoftverek értékelő pontszámai

	MS Excel	Simul 8	Any- Logic	Flex- Sim	Arena	Sim- Chain	Összesen	Sorrend
MS Excel	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1	6
Simul8	2562890625,0	1,0	0,1	39,1	39,1	3125,0	2562890704	2
AnyLogic	50000000000,0	19,5	1,0	762,1	762,1	60966,3	50000001545	1
FlexSim	65610000,0	0,0	0,0	1,0	1,0	80,0	65610002	3
Arena	65610000,0	0,0	0,0	1,0	1,0	80,0	65610002	3
SimChain	820125,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	820125	5

3. táblázat: Preferenciahányadosok és a szimulációs eszköz kiválasztása COMBI-módszerrel