

Koncentrált városi igénypontok áruellátó logisztikai rendszereinek elemzése és mezoszkópikus szintű modellezése

DOI 10.23717/LOGEVK.2019.11

Dr. Bóna Krisztián, Sárdi Dávid Lajos



Dr. Bóna Krisztián

A BME Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszékén egyetemi docens, tanszékvezető, a logisztikai rendszertervezéshez és modellezéshez kapcsolódó témakörök vezető oktatója. Gyakorlati munkája során az elmúlt évtizedben projektgazdája volt számos raktári, valamint termelési rendszer, illetve folyamat kialakításának. Logisztikai rendszerek működésének matematikai modellezésével, a mesterséges intelligencia megoldások logisztikai alkalmazásával, valamint a city logisztikával foglalkozik. Részt vesz az MLBKT szakmai munkacsoportjainak munkájában, továbbá az MTA Logisztikai Osztályközi Állandó Bizottságának tagja.
E-mail: krisztian.bona@logisztika.bme.hu



Sárdi Dávid Lajos

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem logisztikai mérnök MSc hallgatója, tanszéki demonstrátor, az Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszék city logisztikai kutatócsoportjának tagja 2015 óta. Az elmúlt években számos, city logisztikával kapcsolatos publikáció és konferenciaelőadás társszerzője.
E-mail: david.sardi@logisztika.bme.hu

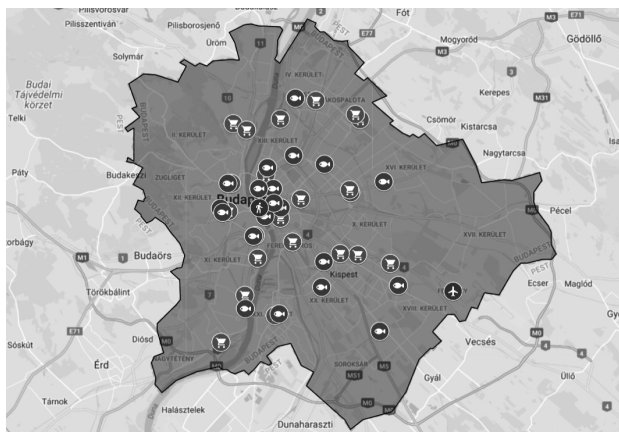
Összefoglaló

Napjainkban a városi áruszállítás világszerte komoly környezet- és zajterhelést okoz, így a zöld logisztikai fejlesztések fókuszában van. A városi áruszállításon belül a tapasztalatok alapján jelentős problémákat okoznak az ún. koncentrált igénypont-halmazok. Az elmúlt három évben számos adatot gyűjtöttünk, melyek alátámasztották a feltételezett problémákat és lehetővé tették a rendszer szimulációs modellezését is. A szimuláció során kapott eredmények megmutatják, hogy egy többlépcsős rendszer alkalmazása milyen megtakarításokat eredményezne, illetve hogyan csökkenthetné a kibocsátásokat és akár a működtetés költségeit is.

1. Bevezetés

Koncentrált igénypontoknak (koncentrált igénypont-halmazoknak) nevezzük az olyan igénypont-halmazokat, ahol kis területen nagyszámú üzlet helyezkedik el, relatíve nagy áruforgalommal. Ilyen igénypont-halmazok például a bevásárlóközpontok, a bevásárlóutcák, a piacok vagy a repülőterek. Budapest Magyarország legnagyobb városa, területe 525,2 km², lakossága pedig több, mint 1.750.000 fő. Ebben a városban 2017 végén 29409 kiskereskedelmi üzlet volt a KSH adatai alapján (KSH, 2017), Budapest 21 bevásárlóközpontjában pedig jelenleg több, mint 3000 üzlet található ezek közül. Ebből látható, hogy a város kiskereskedelmi üzleteinek több, mint 10%-a a város 21 pontjába koncentrálódik. A Váci utca bevásárlóövezetben további 500 üzlet található 0,52 km²-es területen, valamint számos piac is van a városban az 1. ábrán látható módon (bevásárlóközpontok narancssárgával, piacok zölddel, egyéb koncentrált igénypontokat tartalmazó területek lilával jelölve), jelentős áruforgalommal.

Korábbi feltételezéseink szerint ezek az igénypont-halmazok jelentős áruforgalmat, és ezáltal környezet- és zajterhelést okoznak, miközben a logisztikai rendszereik nem megfelelően vannak kialakítva, viszont a külföldi példák azt mutatják, hogy az innovatív, többlépcsős city logisztikai rendszerek jelentős teljesítmény- és kibocsátáscsökkenést hozhatnak. A Bristol Broadmead Consolidation Scheme rendszerben a városközpontban található bevásárlónegyed 63 üzletét kiszolgálva a beszállítási tranzakciók számát 75%-kal, a menetteljesítményt 196.000 km-rel, a CO₂ kibocsátást pedig 22,5 t-val csökkentették a 2006-2009 közötti időszakban (Hapgood, 2009).



1. ábra: Koncentrált igénypont-halmazok Budapesten (Forrás: saját szerkesztés)

2. Adatgyűjtés

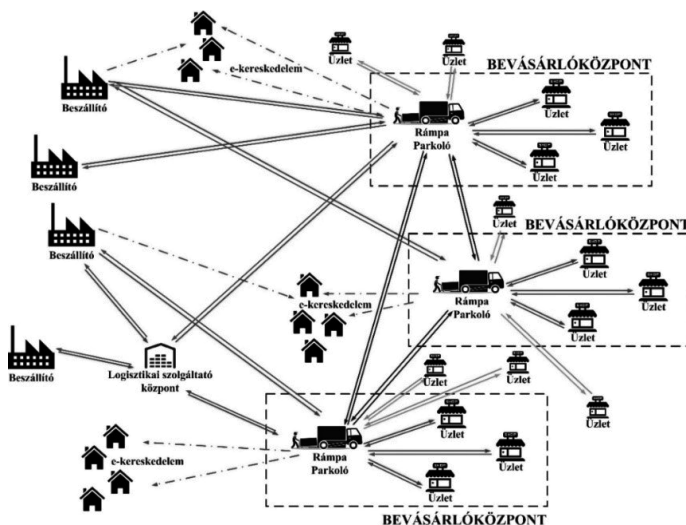
Első lépésként, 2015-ben kidolgoztunk egy vizsgálati módszertant, amely lehetővé teszi a koncentrált igénypont-halmazok (első lépésben a bevásárlóközpontok) logisztikai jellemzőinek megismerését standard módon. Ez a módszertan egy feltáró kutatásból (szakértői interjú, megfigyeléses vizsgálat), illetve egy minden logisztikai területre kiterjedő, az üzletek által kitöltendő, 31 kérdést tartalmazó kérdőívből áll. A kérdőív kérdései az általános jellemzőkre, a beszállítások jellemzőire, az inverz logisztikai jellemzőkre, a webkereskedelem jellemzőire, a raktárokra, az alkalmazott informatikai rendszerre, illetve egy új rendszer esetén az üzletek által preferált szempontokra vonatkoznak (Bóna, Mészáros és Sárdi, 2017).

A módszertan használatával 3 budapesti bevásárlóközpont összesen 327 üzletét sikerült felmérnünk, valamint a Váci utca bevásárlóövezet felmérése jelenleg is folyamatban van. A vizsgálatok alapján megtudtuk, hogy jellemzően ruha- és cipőüzletekről, illetve éttermekről van szó (113, 59, illetve 36 üzlet a 327-ből), ezek alapterülete átlagosan 150,5 m², jelentős, 358,5 m²-es szórással. Az üzletek 52,3%-a esetén szerződéses beszállító vagy logisztikai szolgáltató

szállít, 33,6% esetén pedig saját járművekkel dolgoznak, többnyire személygépkocsikat és kistehergépkocsikat alkalmaznak, 3,5 tonnás össztömeg alatt. Az üzletek 82,9%-a dobozos jellegű egységrakományokat szállít, szállításonként 18,3 db-ot, (27,9 db-os szórással), raklapos egységek 13,2% esetén fordulnak elő, egyéb standard egységrakományok pedig csak néhány esetben, ami nehezítheti a rendszer tervezését. A beszállítások jellemzően a reggeli vagy délutáni csúcsgalamban idejében történnek, a bevásárlóközpontok nyitvatartási ideje alatt, így számos esetben akadályozva a vásárlóforgalmat is. Az üzletekbe átlagosan napi 0,7 beszállítás érkezik (a szórás 1,1), ez évente 258 beszállítást jelent üzletenként, ami 3000 üzlet esetén 774.254 beszállítási tranzakció a város mindössze 21 pontjába. Ezen felül számos esetben előfordul üzletek közötti szállítás, valamint 66 esetben az üzlet készletéből végeznek házhozszállítást. A számos jelentkező probléma miatt arra jutottunk, hogy érdemes lehet új city logisztikai megoldások bevezetésével foglalkozni, melyek megkönnyíthetik a beszállítások lebonyolítását, valamint csökkenthetik a beszállítások számát. Emiatt kezdtük el a rendszer szimulációs modellezését a kapott adatok alapján.

3. Fizikai folyamatok modellezése

A bevásárlóközpontok jelenlegi áruellátási rendszere a 2. ábrán látható, ehhez hasonlóan működik pl. a bevásárlóövezetek áruellátási rendszere is. Ebben a rendszerben több résztvevő van, az üzleteket üzemeltető vállalatoktól a beszállítókon át a logisztikai szolgáltatókig, valamint számos folyamat. A beszállításokon felül megkülönböztetünk inverz szállításokat, házhozszállításokat, illetve üzletek közötti szállításokat is.



2. ábra: A bevásárlóközpontok jelenlegi áruellátási rendszere (Forrás: saját szerkesztés)

A szimulációs futtatások során vizsgáltuk a jelenlegi rendszert, illetve egy olyan kétlépcsős új rendszert, ahol a beszállítók és a bevásárlóközpontok közé konszolidációs központ kerül, a beszállítói udvarokat áruforgalmi zsilipek váltják ki, a városhatárra telepített konszolidációs központ és az üzletek között pedig egy city logisztikai szolgáltató végzi az áru mozgatását. A szimuláció elsődleges célja az volt, hogy összevethessük a két rendszerben jelentkező teljesítményeket és kibocsátásokat, első lépésben így a fizikai folyamatokat modelleztük. A szimulációs modellt Excelben építettük fel, amely a korábbi adatgyűjtés adataiból levezetett statisztikai jellemzőket felhasználva véletlengenerátorok alapján működik, és 178 üzlet folyamatait vizsgálja. A kifejlesztett szimulációs modell a fizikai folyamatok működését leíró matematikai modell reprezentációja mind a jelenlegi, mind pedig az új rendszerre nézve.

A szimulációs modell első komponense a **jelenlegi** rendszert, másik része pedig a konszolidációs központot és áruforgalmi zsilipet alkalmazó **új** rendszer működését szimulálja. A két rész hasonlóan épül fel, ugyanazon bementi adatokból kiindulva véletlengenerátorok alapján meghatározza, mely napokon (és azon belül mely órákban) kell szállítani és előállítani az adott napokon beszállítandó árumennyiséget (árutömeget és árutérfogatot egyaránt, a korábbi adatgyűjtésből intervallumosan rendelkezésre álló tömegadatokból kiindulva). Szemléltetésképpen, a jelenlegi rendszer modellezése során alkalmazott **beszállításgenerátort** az alábbi két formula írja le. Az első formula azt adja meg, hogy a j . napon megvalósulhat-e az i . típusú beszállítási tranzakció (amely egy adott üzlethez tartozik, de egy üzlethez tartozhat több különböző beszállítási tranzakció is), itt $N_i^{\text{sup_day}}$ a beszállítási napok száma, $r_{i,j}$ 0 és 1 közötti egyenletes eloszlású véletlen szám, q_i pedig egy kísérleti úton beállított, az adott beszállításhoz tartozó valószínűségi érték.

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

Az alábbi második formula azt mutatja meg, hogy a j . nap, l . órájában megvalósul-e az i . típusú beszállítási tranzakció, itt $R_{i,j}^l$ 0 és 1 közötti egyenletes eloszlású véletlen szám, Q_i pedig az adott beszállításhoz tartozó, szintén kísérleti úton beállított valószínűségi érték, amely figyelembe veszi az időablak $TW_i^{SM(UL)}$ alsó és $TW_i^{SM(LL)}$ felső határát, $N_i^{\text{max(day)}}$, illetve $N_i^{\text{max(month)}}$ pedig a napi, illetve havi tranzakciók maximális számát adja meg. Az új rendszer esetén a beszállításgenerátor, illetve a konszolidációs központnál a kiszállításgenerátor ehhez

hasonlóan épül fel, most azonban terjedelmi okok miatt nem tudjuk a teljes matematikai modellt ismertetni, amely a koncentrált igénypont-halmazok áruellátási rendszerének összes fizikai folyamatát leírja.

$$x_{i,j}^l = \begin{cases} 1, ha & \left\{ \begin{array}{l} x_{i,j} = 1 \\ TW_i^{SM(UL)} \leq k \\ TW_i^{SM(LL)} \geq k \\ \sum_{k=1}^{l-1} x_{i,j}^k < N_i^{\max(day)} \\ \sum_{h=1}^{j-1} \sum_{g=1}^{24} x_{i,h}^g + \sum_{k=1}^{l-1} x_{i,j}^k < N_i^{\max(month)} \\ R_{i,j}^l < Q_i \end{array} \right. \\ 0, különben \end{cases} \quad (2)$$

A kezelendő árumennyiség meghatározása után a szimulációs modell kiszámítja a szállításokra és a fogyasztásra vonatkozó paramétereket (szállítási- és menetteljesítmény a korábbi adatainkból intervallumosan ismert távolságadatokból kiindulva, fogyasztás és káros anyag kibocsátás fajlagos értékek alapján), illetve modellezi a készletezési pontokon (a beszállítók, a beszállítói udvar, az üzletek, illetve az új rendszerben a konszolidációs központ készletét) rendelkezésre álló árumennyiséget az SS-alapmodell (Safety Stock, azaz biztonsági készlet alapú modell) alapján, valamint meghatározza az új rendszerben az adott feladatok ellátáshoz szükséges beszállításszámot is, egységes méretű kiszállító járműveket alkalmazva a konszolidációs központ és a koncentrált igénypont-halmazok között (Bóna és Sárdi, 2017). Az MS Excel alapú szimulációs modellben a konszolidációs központ készletét kezelő munkalap a 3. ábrán látható, ehhez hasonlóan épülnek fel a további funkciókat megvalósító munkalapok is.

Mail ID	Supplier ID	Shop ID	SKU ID	Safety Stock	Opening stock	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SM001	SUP0001	SH0001	SKU0006	3	8	8	4	4	2	3	4	4	4	4	4	4
SM001	SUP0002	SH0002	SKU0005	25	75	59	59	59	39	69	27	27	27	27	69	69
SM001	SUP0003	SH0003	SKU0003	40	80	80	80	62	62	62	95	128	163	163	201	201
SM001	SUP0004	SH0004	SKU0002	350	700	884	815	775	1002	935	797	746	889	759	867	827
SM001	SUP0005	SH0005	SKU0002	50	150	66	66	66	66	66	37	37	37	37	37	37
SM001	SUP0006	SH0006	SKU0006	750	2250	3655	3655	3655	3655	3165	3165	3672	4292	4292	4292	3526
SM001	SUP0007	SH0007	SKU0006	500	1000	1000	1206	1335	1398	1774	2206	2546	2546	2546	2546	2546
SM001	SUP0008	SH0008	SKU0003	600	1200	1078	1016	1130	1348	1561	1500	1450	1837	1812	2125	1928
SM001	SUP0009	SH0009	SKU0003	15	30	39	39	=MAX(	39,794	36,776	32,779	32,538	32,287	24,527	24,287	37,1
SM001	SUP0010	SH0010	SKU0003	188	563	343,9837	491,82	543,16	536,81	283,94	624,03	617,63	613,23	649,65	517,8	512,82
SM001	SUP0011	SH0011	SKU0001	4000	8000	8000	6785	5131	3582	1915	1303	572	572	572	3155	3155
SM001	SUP0012	SH0012	SKU0001	1500	3000	2995	3797	3348	3032	2732	3525	4065	4499	4223	5210	6233
SM001	SUP0013	SH0013	SKU0003	260	520	520	279	505	505	566	440	440	440	440	440	440
SM001	SUP0014	SH0014	SKU0002	160	320	261	220	203	175	125	234	205	175	180	133	217
SM001	SUP0015	SH0015	SKU0007	8	23	31	36	28	32	32	32	19	19	30	40	40
SM001	SUP0016	SH0016	SKU0001	9600	19200	18266	19814	17091	20604	17594	15868	14371	20527	17423	14520	13424
SM001	SUP0017	SH0017	SKU0003	2400	4800	4800	4800	4800	4117	4117	3347	2654	374			
SM001	SUP0018	SH0018	SKU0007	6	18	18	12	17	17	17	17	13	13	13	20	20

3. ábra: Az Excel alapú szimulációs modell egy munkalapja (Forrás: saját szerkesztés)

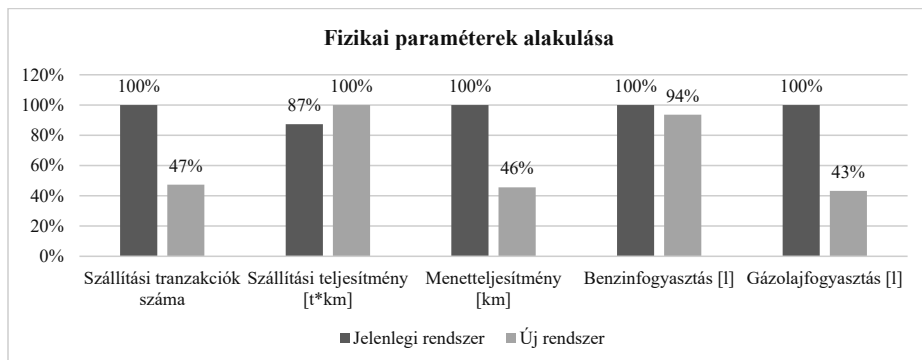
A modellben kezeljük az inverz logisztikai folyamatokat is: a modell a beszállításokhoz generálja a hozzájuk tartozó göngyölegkezelési feladatokat és előállítja az azokhoz, illetve az

üresfutásokhoz tartozó paramétereket is, a házhozszállítási folyamatok során pedig a teljesítményeket a házhozszállítás (korábbi adatgyűjtésünkben ismert) részarányából és a házhozszállítási igénypontok üzlettől vett távolságából kiindulva, a Clarke&Wright-féle, köralapú területre vonatkozó VRP-becslő algoritmus alapján határozza meg. Mivel az üzletek közötti szállítások és a szervízbe történő szállítások sokkal sporadikusabbak, ezért azokat a jelenlegi mezoszkópikus szintű modellben nem kezeltük.

A szimulációs futtatásokhoz a korábbi adatgyűjtésünk vonatkozó adatait (3 bevásárlóközpont 178 üzletére vonatkozólag), valamint valós úthálózati adatokat és aktuális standardok szerint meghatározott fajlagos kibocsátási és értékeket használtunk fel bemenetekként, ezek részletesen tartalmazták a legfontosabb logisztikai jellemzőket. A szimulációs futtatások előtt verifikáltuk, illetve validáltuk a modellt a beszállított árutömegek alapján. A modellben a jelenlegi rendszerben egy hónap alatt (178 üzletet kiszolgálva) várhatóan 1346,1 tonna árut szállítunk be, az új rendszerben a modellezett árumennyiség 1356,2 tonna a beszállítók és a konszolidációs központ között, illetve 1338,1 tonna a központ és a bevásárlóközpontok között, az eltérés +0,7%, illetve -0,6% a jelenlegi rendszerhez képest, ez pedig elhanyagolható. Az értékeket az adatgyűjtésünk vonatkozó eredményeivel összevetve is hasonló eltérést kapunk, így azt állíthatjuk, hogy a két különböző rendszer jól összehasonlítható. Hasonlóan összevetettük a kezelt göngyölegmennyiségeket, illetve a házhozszállítás során kezelendő árumennyiséget, azon esetén 3-8% közötti eltéréseket kaptunk, amelyet szintén elhanyagolhatónak tekinthetünk, mivel jelentősen kisebb mennyiségekről, illetve nagyobb sporadicitásról van szó ezek esetén. Kísérlettervezést követően száz futtatást végeztünk a jelenlegi és az új rendszert vizsgáló modell-komponenssel is, ez a későbbi számításaink szerint megfelelő mennyiségű futtatás volt.

A kísérletek alapján 3397 beszállítási **tranzakció** történik a jelenlegi rendszerben (a szórás 16,5), míg az új rendszerben a beszállítók és a konszolidációs központ között 1.339 (a szórás 16,7), a központ és az áruforgalmi zsilipek közt pedig 269 (a szórás 6) beszállításra van szükség egy hónap alatt. Az ehhez tartozó **menetteljesítmény** várható értéke a jelenlegi rendszerben (csak a beszállítások során, a megtett út hasonlóan alakul az inverz tranzakciók során is) 584.049,1 km havonta, az új rendszerben pedig 266.306,5 km, ez jelentős, 54%-os csökkenést jelent. Ebből következően a benzinfogyasztás várható értéke havi 1.847,4 literről 1.729 literre, a gázolajfogyasztás (az új rendszerben a city logisztikai szolgáltató járműveit gázolaj meghajtásúnak vettük) havi 35.083,3 literről 15.182,8 literre csökkent. Ennek köszönhetően pedig jelentős a kibocsátáscsökkenés is, pl. a havi CO₂ kibocsátás várható értéke 54%-kal,

6.558,9 kg-ról 3.041,2 kg-ra csökken, a havi NO_x kibocsátás várható értéke pedig 13,4 kg-ról 6,1 kg-ra a vizsgált 178 üzlet ellátása esetén. A **szállítási teljesítmény** olyan paraméter, ami rendszerszinten kis mértékben növekszik, mivel a konszolidációs központ egy olyan pont a rendszerben, ami jelenleg nem érintett, így a jelenlegi rendszerben várható 152.851,7 tkm teljesítmény 14%-kal, 174.983,4 tkm-re nő, városon belül azonban így is 38%-os teljesítménycsökkenés érhető el. A különböző paraméterek változása a 4. ábrán látható, ahol minden esetben a nagyobb mennyiséget vettük 100%-nak.



4. ábra: Fizikai paraméterek összehasonlítása (Forrás: saját szerkesztés)

Vizsgáltuk továbbá a **házhozszállításokat** is, melynek során várhatóan havi 49-54 t árut kell mozgatni a 178 vizsgált üzlet esetén. Ekkor a jelenlegi rendszerben várhatóan havi 4097, az új rendszerben 991 tranzakcióra van szükség, a menetteljesítmény 50.000 km körüli mindkét esetben, az összefogyasztás várható értéke havi 3.454,6 literről 1190,9 literre csökkent.

Így a fizikai paraméterek várható értékei alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy érdemes részletesebben is megvizsgálni a kétlépcsős rendszereket a bennük rejlő jelentős potenciálok miatt.

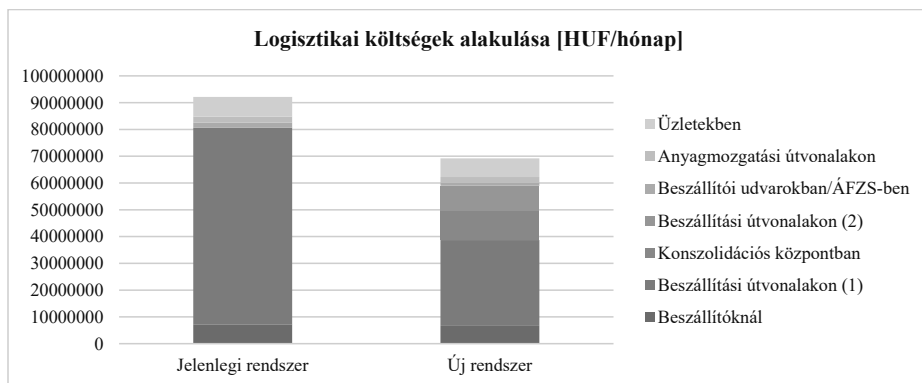
4. Költségek modellezése háromdimenziós struktúrában

Következő lépésként elkészítettük a költségstruktúra matematikai modelljének leképezését. Természetesen korábban is sokan foglalkoztak már költségek modellezésével a közlekedés, a logisztika, sőt azon belül city logisztika terén is, azonban az általunk is vizsgált specifikus városi logisztikai rendszer költségeit még nem modellezték. Kidolgoztak kalkulációs modelleket a közlekedésben és a logisztikában is (Bokor, 2011), illetve foglalkoztak a közlekedési rendszerekre kidolgozott módszerek logisztikai adaptálásával (La Londe és Pohlen, 1994), azonban nekünk jelenleg egy olyan modellre van szükségünk, amely az általunk vizsgált

city logisztikai rendszert úgy írja le, hogy jól hozzáfűszthető legyen a mezoszkópikus szintű szimulációs modellhez is.

A logisztikai költségeket így egy **háromdimenziós** gondolkodásmódban modelleztük le úgy, hogy az hozzáfűszthető legyen a szimulációs modellben alkalmazott rendszerarchitektúrához. A három dimenzió a **költséghelyek** (pl. a beszállítók telephelyei, vagy az üzletek, valamint az új rendszerben a konszolidációs központ), a **részrtvevők** (pl. az üzletek üzemeltetői, a beszállítók, vagy a logisztikai szolgáltatók) és a rendszerben előforduló **folyamatok** (pl. a klasszikus RST folyamatok, vagy az adminisztráció). Az így kapott háromdimenziós mátrix egyes pontjai az adott költséghelyen, adott folyamat során az adott vállalatnál fellépő költséget adják meg. Ezeket a pontokat az egyes vállalatokra folyamatok és költséghelyek szerint összegezve megkapjuk az adott vállalat összes költségét a rendszerben, az egész mátrixot összegezve pedig megkapjuk a rendszer összes logisztikai költségét. A matematikai formulákat az egyes vállalatokra költséghelyek és folyamatok szerinti bontásban írtuk fel, ezt pedig hozzáfűszttük a szimulációs modellhez is. A szimulációs futtatások bemeneteként szolgáló fajlagos költség adatokat korábbi projektekből, illetve árajánlatokból vettük, ezek alapján a szimulációs modell véletlengenerátorok alapján állította elő az egyes üzletekhez tartozó várható költségeket (Bóna, Róka és Sárdi, 2018).

A szimulációs futtatások során kapott eredmények az 5. ábrán láthatók. A jelenlegi rendszerben ekkor várhatóan 92 millió Ft körüli a 178 üzlet havi összes logisztikai költsége, amely az új rendszerben lecsökkenthető várhatóan 69 millió Ft körüli értékre. Ez tehát a várható értékeket tekintve kb. 25%-os költségcsökkenést jelent elsősorban annak köszönhetően, hogy a szállítási tranzakciók száma jelentősen csökkent. Az új rendszerben megjelent új költségként a konszolidációs központ logisztikai folyamatainak lebonyolítása, ami várhatóan 11 millió Ft havonta, a többi költségjellemző viszont nem változott jelentősen.



5. ábra: Havi logisztikai költségek összehasonlítása (Forrás: saját szerkesztés)

Természetesen nem elhanyagolhatók az új rendszer beruházási költségei sem. Erre nézve jelenleg még becsléseink nem állnak rendelkezésre. Szükség lesz az infrastruktúra kiépítésére, be kell ruházni új járművekre, informatikai rendszert kell kidolgozni, azonban üzemeltetési oldalról már 178 üzlet esetén is költségcsökkenés várható a szimulációs futtatásaink alapján, illetve ezeknek az információknak a birtokában vizsgálható lesz a megtérülés kérdésköre is a későbbiekben.

5. Összefoglalás

2015-ben úgy kezdtük el a budapesti koncentrált igénypontok áruellátási rendszerének vizsgálatát, hogy semmilyen érdemi adat nem állt rendelkezésünkre, amelynek segítségével modellszerűen vizsgálni lehetett volna a rendszer szintű működést. Az elmúlt három évben egy módszertan kidolgozása, adatgyűjtés és modellépítés után részletes adatokat kaptunk a rendszerben keletkező teljesítményekkel kapcsolatban. A kapott eredményeink azt mutatják, hogy nem csak érdemes, hanem kell is foglalkozni innovatív, többlépcsős city logisztikai rendszerek vizsgálatával a koncentrált igénypont-halmazok esetén. A szimulációs futtatások alapján azt kaptuk, hogy a menetteljesítmény, és az abból eredő káros anyag kibocsátás az új rendszerben akár több, mint 50%-kal csökkenthető, a beszállítási tranzakciók és a megtett út csökkenése miatt pedig a költségek is közel 25%-kal csökkenhetnek, amely havonta 178 üzlet esetén közel 23 millió Ft csökkenést jelentene a logisztikai költségekben.

Természetesen számos további vizsgálatra lesz szükség még ezekkel a megállapításokkal kapcsolatban annak érdekében, hogy teljes képet kapjunk a tervezett city logisztikai rendszerek működéséről. Ehhez a mérete miatt egyre lassúbbá vált modellt szeretnénk kiváltani egy, megjelenítésre is alkalmas specifikus szimulációs szoftverrel. Ennek megfelelően a folyamatok matematikai modellje alapján megkezdtük a szimulációs modell átültetését a kiválasztott eszközbe, ami az AnyLogic, ellátási láncok szimulációjára is kifejezetten alkalmas szimulációs szoftver.

Fontos a méretezési feladatokat is megkezdeni, jelenleg az áruforgalmi zsilipek kialakítási lehetőségeit vizsgáljuk, külön bevásárlóközpontok és külön bevásárlóövezet kiszolgálására is, ezen felül pedig szintén foglalkozni kell majd a konszolidációs központ méretezésével és a járműpark kialakításával is. Első lépésben azt javasolnánk, hogy egy pilot területen (pl. egy bevásárlóközpont néhány üzletét bevonva vagy egy bevásárlóövezet lehatárolt kisebb területét vizsgálva) ki kéne alakítani egy minta rendszert, hogy az új rendszert valós körülmények között is vizsgálhassuk. Egy ilyen fejlesztés természetesen mindenképpen beruházásigényes, ezért meg kell majd találni azt is, hogy ki végezze el a szükséges fejlesztéseket a számos érdekelt fél

közül. Megoldás lehet például valamilyen pályázati forrás felhasználása erre a célra, vagy éppen önkormányzati támogatással fejleszteni (figyelembe véve a várható előnyöket a városi forgalom, zaj-, illetve környezetszennyezés csökkenése által), illetve az új rendszert üzemeltető city logisztikai szolgáltatók is érdekeltek lehetnek egy ilyen fejlesztési projektben a várható bevételek miatt.

Azt egyértelműen megállapíthatjuk, hogy érdemes ezen a területen vizsgálni, hiszen nem csak a külföldi példák, hanem a szimulációs futtatásaink eredményei is azt mutatják, hogy nagy potenciál van a terület fejlesztésében, és nem csak a teljesítményeket, hanem egy új rendszer alkalmazásával akár a logisztikai költségeket is jelentősen csökkenthetjük. A kutatásunk eredményeképpen kapott modelleket a későbbiekben felhasználhatjuk majd akár a rendszerek tervezési fázisában (pl. az új rendszerben kiszolgálandó üzletcsoportok meghatározásához vagy a konszolidációs központ optimális pozíciójának kiválasztásához), illetve az üzemeltetés során is (pl. az adott időszaki igények szerint szükséges várható járműszám meghatározásához).

Irodalomjegyzék

Bokor Zoltán (2011): Calculation model for transport costing, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering* 39/1 (2011) 43-47.

Bóna Krisztián, Mészáros Bálint, Sárdi Dávid Lajos (2017): Monitoring, measurement and statistical analysis (MMSA) based methodology for improvement city logistics of shopping malls in Budapest, *World Review of Intermodal Transportation Research*, Vol. 6, No. 4, 2017

Bóna Krisztián, Róka Ádám, Sárdi Dávid Lajos (2018): Mathematical Modelling of the Cost Structure of the Logistics System of Shopping Malls in Budapest, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering* 46(3), pp. 142-150, 2018

Bóna Krisztián, Sárdi Dávid Lajos (2017): Developing a mesoscopic simulation model for the examination of shopping mall freight traffic in Budapest, *Smart Cities Symposium 2017, Prague*, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7973835/>

Hapgood, Tim (2009): Broadmead Freight Consolidation Scheme, URL: <https://www.centallondonfqp.org/app/download/12244698/Bristol+consolidation+scheme+230408.pdf>

Központi Statisztikai Hivatal (2017): A kiskereskedelmi üzletek számának alakulása, URL: http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_evkozi/e_okk012.html

La Londe, B. J., Pohlen, T. L (1994) Implementing Activity Based Costing (ABC) in Logistics, *Journal of Business Logistics*, Vol. 15, No. 2, 1994, pp. 11-12