

Kötőtpályás városi áruszállítási lehetőségek vizsgálata Budapesten az AHP-módszer alkalmazásával

Dr. Bóna Krisztián*, Sárdi Dávid Lajos**, Kormos Henriett***, Major Petra****, Posta Máté Imre*****

* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszék, tanszékvezető, egyetemi docens (e-mail: krisztian.bona@logisztika.bme.hu)

** Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszék, PhD-hallgató (e-mail: david.sardi@logisztika.bme.hu)

*** Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, végzett logisztikai mérnök BSc-hallgató; Építőmérnöki Kar, infrastruktúra-építőmérnöki MSc-hallgató (e-mail: kormosheni@gmail.com)

**** Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszék, tanszéki demonstrátor; logisztikai mérnök MSc-hallgató (e-mail: majorpepe98@gmail.com)

***** Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, közlekedésmérnök MSc-hallgató (e-mail: mate.posta@gmail.com)

Absztrakt: Cikkünkben a kötőtpályás városi áruszállítás lehetőségeit fogjuk bemutatni Budapest példáján keresztül. Napjainkban a városi áruszállítás egyre nagyobb és nagyobb kihívást jelent minden szempontból, miközben a városi úthálózat egyre zsúfoltabbá válik, a rakodási feladatok végrehajtása pedig számos helyen problémákba ütközik. Jó lehetőség lenne mind a forgalom, mind pedig a környezetvédelmi kérdések szempontjából a városi kötőtpályás hálózat bevonása a városi áruszállításba, mint ahogy az működik például Zürichben vagy Drezdában, azonban fontos kérdés, hogy melyik hálózatot alkalmazzuk. Budapest esetén például a villamos-, metró-, HÉV- és a nagyvasúti hálózat is rendelkezésre áll, ezek közül kell választani. Ezen kérdés megválaszolására kidolgoztunk egy AHP-alapú megoldást, amely megmutatja, melyik hálózat a legalkalmasabb áruszállítási célokra. Cikkünkben a lehetséges megoldások ismertetése után bemutatjuk ezt a megoldást, majd ismertetjük a kapott eredményeket, a további feladatokat, valamint a hasonló jellegű minősítési megoldások alkalmazási lehetőséget más city logisztikai kérdésekben.

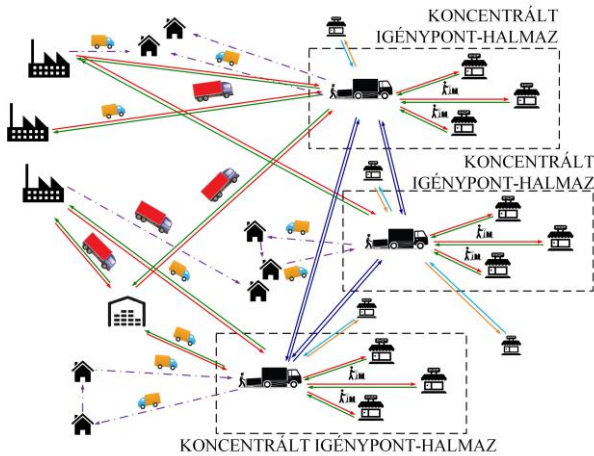
1. BEVEZETÉS

Cikkünkben bemutatásra kerül, hogy Budapestre koncentrálván hogyan vizsgálhatjuk a városellátási feladatok kötött pályán, környezetbarát módon történő megvalósíthatóságát. A cikk négy korábbi hallgatói munkára épít, ezek 2019 tavaszán a logisztikai mérnöki alapképzés Logisztikai projektirányítás tantárgya keretében, a BME-KJK 2019-es Tudományos Diákköri Konferenciájára, valamint 2020-ban BSc-szakdolgozatként készültek el (Kormos et. al., 2019a, b, c; Kormos, 2020). A kutatás a BME Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszékének több éve működő City Logisztikai Kutatócsoportjának (BME-ALRT, 2020) munkáját hivatott segíteni, akik már régóta vizsgálódnak a fővárost érintő városellátási kérdésekkel kapcsolatban.

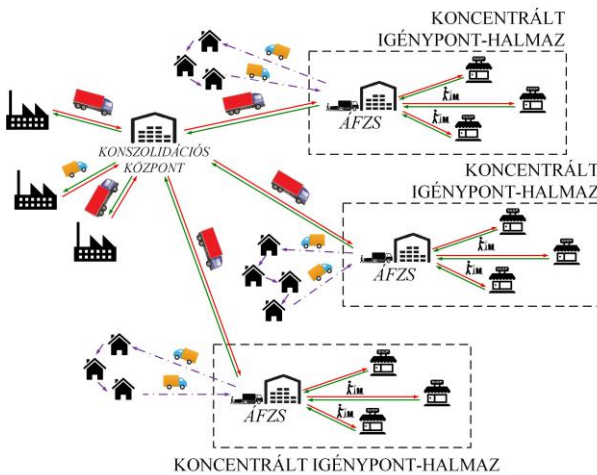
Napjainkban a legtöbb városban a tehergépkocsikkal történő áruszállítás részesül előnyben, a viszonylag kis kapacitás és a fuvarozó és szállítmányozó cégek sokszínű felhozatala miatt, több járat, illetve több körjárat indul, amelyek telítik az utakat és a környezeti hatásuk sem kedvező. A közúti szállítás

nyújtotta rugalmasságról le lehet mondani egy átgondolt, jól megtervezett és kiépített, gazdaságos és környezettudatos kötőtpályás áruszállítási koncepció javára. Bizonyítékként jól megállja a helyét több külföldi példa is, melyeket majd a 2. fejezetben fogunk bemutatni.

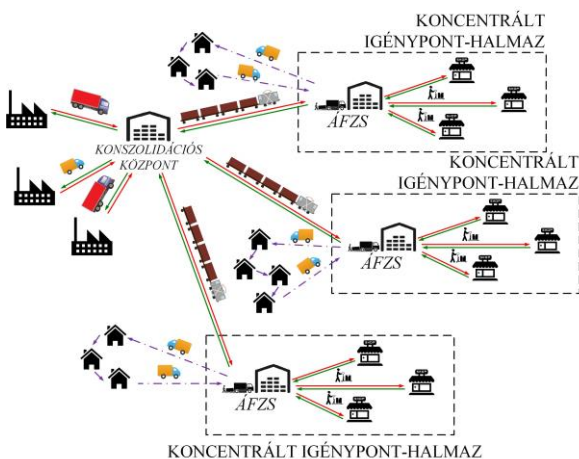
A City Logisztikai Kutatócsoport munkájában elsősorban az ügynevezett városi koncentrált igénypont-halmazok jelenlegi és lehetséges jövőbeli áruellátási rendszereivel foglalkozunk, a kapott eredményekkel kapcsolatban a 2019-es IFFK Konferenciára is készítettünk egy publikációt (Bóna és Sárdi, 2019). Ebben a publikációban felvázoltuk a koncentrált igénypont-halmazok jelenlegi áruellátási rendszerét (ld. 1. ábra), valamint néhány alternatív, konszolidáció alapú jövőbeli megoldást, melyek közül a legfontosabbak a tehergépkocsikat, áruszállító villamosokat, valamint cargo hajókat ábrázoló koncepciók, ezekre koncentrálnunk elsősorban a kutatásunkban (a megoldásokat lásd a 2., 3. és 4. ábrán).



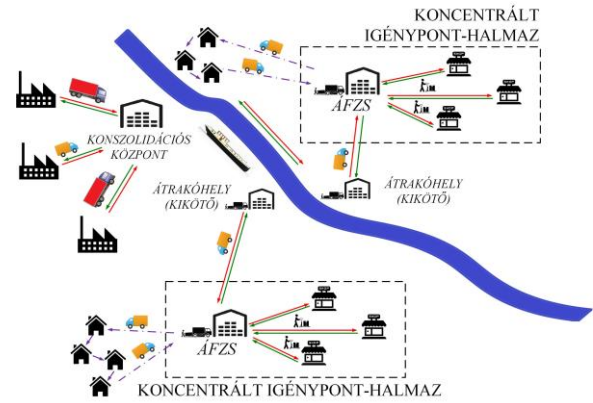
1. ábra: A városi koncentrált igénypont-halmazok jelenlegi áruellátási rendszerének strukturája (Bóna és Sárdi, 2019)



2. ábra: A városi koncentrált igénypont-halmazok új áruellátási rendszerének koncepciója tehergépkocsik alkalmazásával (Bóna és Sárdi, 2019)



3. ábra: A városi koncentrált igénypont-halmazok új áruellátási rendszerének koncepciója közúti vasúti szerelvények alkalmazásával (Bóna és Sárdi, 2019)



4. ábra: A városi koncentrált igénypont-halmazok új áruellátási rendszerének koncepciója áruszállító hajók alkalmazásával (Bóna és Sárdi, 2019)

Ebben a cikkben ezek közül a kötőpályás megoldásokkal fogunk foglalkozni, melyek közül korábban már a villamost alkalmazó megoldásokat vizsgáltuk. Szimulációs modellekkel vizsgáltuk a rendszer bevezetésének hatásait (Bóna és Sárdi, 2019), valamint egy korábbi projekt keretében megvizsgáltuk azt is, hogy milyen lehetőségek vannak a budapesti barna zónás területek hasznosítására áruszállító villamosokat alkalmazó city logisztikai rendszerekben (Mázik, 2013).

2. VÁROSI ÁRUSZÁLLÍTÁS KÖTÖTT PÁLYÁN

Több, villamos által támogatott (működő, illetve korábbi pilot) városi áruszállítás rendszerrel is találkozhatunk, amelyek kétféle módon végzik a szállításokat: pótkocsis megoldással, azaz teherkocsikkal, illetve olyan speciális villamos szerelvényekkel, amelyek teherszállításra lettek kialakítva. A svájci Zürichben 2003 óta pótkocsis szerelvények közlekednek: a Cargo-Tram a hulladék, az E-Tram az elektromos hulladék elszállításáért felel (Stadt Zurich, 2020). Drezdában a CarGoTram a Volkswagen gyárat az egyik beszállítójával köti össze, ami nem tipikus városellátási példa, ugyanis egy üzem ellátását végzi áruszállításra kialakított, két vezetőfülkével rendelkező szerelvényekkel (Halász, 2014). Frankfurtban egy pilot projektben a Logistiktram szerelvények az árut emberekkel kombináltan szállították, a megállóhelyekben pedig cargo-kerékpárokra kerültek az azokkal kompatibilis egységakrományok (ld. 5. ábra) (Logistiktram, 2020).



5. ábra: Áruszállítás villamossal és cargo kerékpárral a frankfurti Logistiktram rendszerben (VDV, 2020)

Az előbbi megoldások kedvező tapasztalatai, valamint a szimulációs vizsgálatok során (Bóna és Sárdi, 2019) kapott kedvező eredmények miatt Budapesten is érdemes a vasúti áruszállítás lehetőségét górcső alá venni, ami egyébként nem idegen a várostól. 1996-ig két közlekedési ágazat (a villamos és a HÉV-hálózat) szolgálta ki a teherfuvarozási igényeket. A két rendszer közös jellemzője volt, hogy a kiszorgálandó pontokon iparvágánnyal rendelkeztek és jellemzően nagyobb üzemek (pl. kőbányai sörgyár) kiszorgását végezték (VEKE, 2007). A villamosvonalakon végzett áruszállítási feladatokat az üzem saját járműveivel, esetleg teherkocsikkal szolgálta ki, de előfordult, hogy nagyvasúti járművek is szállítottak árut a vonalakon. Budapesten tehervillamosok szolgálták ki a város különféle ipari üzemeit, amelyek rendszerint saját iparvágányhálózattal rendelkeztek. A Ganz Villamossági Műveket transzformátor-olajjal és a fűtéshez szükséges pakurával látták el a tehervillamosok. A metróépítések idején a kiemelt föld elszállításában is segédkeztek. Napjainkban már csak üzemi célú szállításokra használják a BKV 6. ábrán is látható tehervillamosait, amik a „Muki” névre hallgatnak (VEKE, 2007; Hampage, 2020; Villamosok.hu, 2020a, b; HamPLÓ, 2012)



6. ábra: Muki teherszállító villamosok Budapesten, a Gárdonyi téren (fotó: Kormos Henriett)

A villamoshoz hasonlóan a Budapesti Helyiérdekű Vasút hálózatán is zajlott áruszállítás (ld. 7. ábra), különbség viszont, hogy a vasúti infrastruktúra teljes egészében nagyvasúti jellegű volt. Nagy, többvágányos állomásoknak, rendezőpályaudvaroknak és csonkavágányoknak köszönhetően a kiszorgálás magasabb színvonalon történt. Többek között a sashalmi piac is így került kiszorgálásra, valamint nagy mennyiségben szállítottak szenet és építőanyagokat (VEKE, 2007; Hampage, 2020). A metróvonalakon jelenleg nem működik városellátást szolgáló áruszállítás, ám az éjszakánként lebonyolított karbantartás során szemétszállítás történik dízelmozdonyok vontatta teherkocsikkal. Metróval kapcsolatos építkezések esetén alapanyag- és törmelékszállítás is lehetséges a vonalon (Kormos et. al., 2019a).

A nagyvasútnak napjainkban a városi áruszállításban nincs szerepe, de Budapesten az amúgy is működő áruszállítás miatt erre már kiépített kapcsolatokkal és rakodáshoz (esetleg tároláshoz) szükséges felszerelésekkel és helyekkel

rendelkezik. Hátrányok közé sorolható, hogy a belvárosba nem igazán jönnek be a nagyvasúti szerelvények, a vágányok nagy része külső területek található.

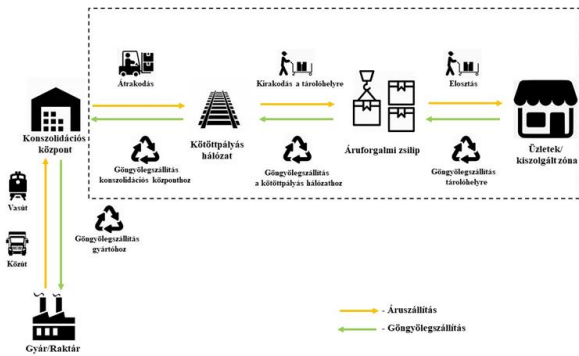


7. ábra: Áruszállítás a budapesti HÉV-hálózaton (Hampage, 2020)

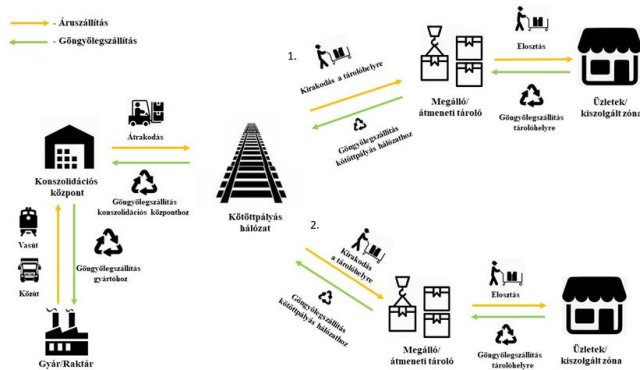
3. GATEWAY-KONCEPCIÓ ALAPÚ CITY LOGISZTIKAI MEGOLDÁSOK

Következő fontos kérdés, hogy hogyan is lehetne a különböző kötőpályás megoldásokat integrálni a városellátás rendszerébe, a korábbi 3. ábrán felvázolt koncepcióhoz hasonlóan. Az áruszállítás szempontjából szóba jövő négy lehetőség (villamos, nagyvasút, HÉV, metró) egy fiktív gateway-rendszerben teljesítenék áruszállítási feladataikat. Ebben a rendszerben a konszolidációs központ és az áruforgalmi zsilipek, valamint a megállók, illetve az azokban kialakított rakodók között történne az áruszállítás a kötőpályás hálózaton. A konszolidációs központokban a beérkező nagy mennyiségű áru rendszerezése mellett itt történne a konszolidáció, a komissiózás, valamint az egységgrakományok összeállítása és csomagolása. A rakatokat bizonyos idejű tárolás után a kötőpályás hálózat segítségével indíthatnák el célhelyükre és kezelnék a visszatérő göngyölegeket is. Az áruforgalmi zsilipeknél új egységgrakományok képzését lehetne megvalósítani, de ezek elsősorban cross-docking funkciót töltenének be, és itt csak a kiszorgálandó zóna igényeinek megfelelő anyagmennyiség tárolása és szétosztása történne, továbbá a visszaérkező göngyölegek összegyűjtése és továbbítása a konszolidációs központok felé. A megállók átmeneti tárolóként és rakodóként működhetnének, amelyeknél már nem történne további szállítási egységek létrehozása. Ezeknek az előre összekészített árutömegeknek a továbbítása történne az igénypontok felé bizonyos idejű tárolás után.

Az előbb ismertetett rendszerben az áruszállítást kétféleképpen lehetne lebonyolítani. Az egyik megoldást a célfuvar (FTL) jelentené, melynél csak egy kirakodási pont lenne a járat során. Egy másik lehetőség a terítőjáratos rendszer (LTL) lenne, melynél több megállót vagy áruforgalmi zsilipet is érintene a jármű. A 8. ábra a célfuvaros megoldást, a 9. ábra pedig a terítőjáratos rendszert vázolja fel.



8. ábra: Célfuvaros kötőpályás gateway-konceptió



9. ábra: Terítójáratos kötőpályás gateway-konceptió

Cikkünk fő célja annak bemutatása, hogy konszolidáció alapú új city logisztikai rendszerekbe mely városi kötőpályás áruszállítási megoldást lehetne bevonni, ennek vizsgálatára dolgoztunk ki egy multikritériumos minősítési módszertant.

4. AHP-ALAPÚ MINŐSÍTÉSI MODELL BEMUTATÁSA

Következő lépésben bemutatjuk magát az AHP-módszert, valamint a kidolgozott szempontrendszer is. A kötőpályás alternatívák rangsorolására (áruszállításra való alkalmasság szempontjából) olyan módszertant alkalmaztunk, amely alkalmas többszpontú problémák és skálán megadott és konkrét értékkel rendelkező szempontok együttes kezelésére. Ez a módszertan az Analytic Hierarchy Process (azaz Analitikus Hierarchia Eljárás) egy olyan döntési modell (Saaty, 1987), amelyben a szempontok meg vannak egymástól különböztetve és számításba vehető a vertikális függőség is.

4.1. Az AHP-módszer

Az AHP-módszert a széles körben elterjedt COMBI-módszerhez lehet hasonlítani, de az AHP sokkal bonyolultabb, ezért képes pontosabb eredményt adni. A módszerben először a szempontokat kell definiálni. Ezután meg kell határozni azok mértékadó kategóriáit (esetünkben három ilyen kategóriát határoztunk meg: 3 - nagyon fontos, 2 - közepesen fontos, 1 - kevésbé fontos). Kutatásunkban a 4.2. pontban bemutatásra kerülő felvett szempontokat 1-től 3-ig pontoztuk, majd összegeztük a háromféle pont gyakoriságát, és kiszámoltuk a

relatív gyakoriságokat. Az összesítés során a nagyon fontos kategóriába tartozók kétszer fontosabbak a közepesen fontos szempontoknál, amelyek kétszer fontosabbak a kevésbé fontos kategóriába került szempontoknál. A mérvado kategóriák meghatározásához az egyes szempontokra kapott pontok relatív gyakoriságait összeszoroztuk a három kategória relatív súlyával, majd összegeztük azokat, megkapva így a fontossági értékeket. A mérvado kategóriák meghatározása után szükséges az AHP-módszer alkalmazása során felvenni a szempontok páros összehasonlítási mátrixát, amelyben az összes szempontot (A_1, A_2, \dots, A_n) feltüntetjük, ezeket a mátrix soraiban vettük fel, és össze kell őket hasonlítani rendre ugyanabban a sorrendben az oszlopokban elhelyezett szempontokkal. A mátrix főátlójában egyértelműen 1-es értékek helyezkednek el, mivel a főátlóhoz tartozó sorokban és oszlopokban ugyanazok a szempontok helyezkednek el. Ezt követően a felső és alsó háromszögmátrix kitöltése szükséges. Az (1) formulában is látható mátrixban a p_i/p_j hányados azt mutatja meg, hogy az A_i szempont hányszor fontosabb A_j szempontnál ($i=1\dots n, j=1\dots n$).

$$\begin{matrix}
 & A_1 & A_2 & \dots & A_n \\
 A_1 & \frac{p_1}{p_1} & \frac{p_1}{p_2} & \dots & \frac{p_1}{p_n} \\
 A_2 & \frac{p_2}{p_1} & \frac{p_2}{p_2} & \dots & \frac{p_2}{p_n} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 A_n & \frac{p_n}{p_1} & \frac{p_n}{p_2} & \dots & \frac{p_n}{p_n}
 \end{matrix} \quad (1)$$

A kapott mátrix normalizált mátrixának felvétele a következő lépés a minősítés végrehajtása során. A normalizált mátrix értékei az előző mátrix megfelelő cella értékei és az adott oszlop összegértékének hányadosaként adódnak. Az így kapott mátrix oszlopainak összegértéke rendre 1 lesz. A normalizált mátrix soraiban szereplő értékeknek ki kell számítani az átlagát, melyből leellenőrizhető a konzisztencia index (CI), ekkor meg tudjuk vizsgálni azt, hogy az (1) formulában felvett kiinduló mátrix konzisztens-e (amennyiben nem, korrekció lesz szükséges). A konzisztencia index meghatározásához ki kell számítani a λ_{\max} legnagyobb sajátértéket. Az eredeti páros összehasonlítási mátrix sorait adó vektorokat ($\overline{A_{n,sor}}$) a súlyokat tartalmazó vektorral ($\overline{AV_{n,oszlop}}$) kell összeszorozni, majd az adott súllyal elosztani, a (2) formula szerint.

$$\lambda_n = \frac{\overline{A_{n,sor}} * \overline{AV_{n,oszlop}}}{AV_n} = \frac{\begin{bmatrix} p_n & p_n & \dots & p_n \\ p_1 & p_2 & \dots & p_n \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} AV_1 \\ AV_2 \\ \vdots \\ AV_n \end{bmatrix}}{AV_n} \quad (2)$$

A konzisztencia indexet a következő (3) képlettel lehet meghatározni, ahol λ_{\max} az előző képlettel meghatározott értékek közül a legnagyobb, n pedig a mátrix rangja.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

A konzisztencia arány a konzisztencia index és a random index hányadosa. A mátrix rangja alapján a random indexet meg lehet határozni (Donagan és Dodd, 1991) (Saaty, 1987). Amennyiben konzisztens értéket kapunk, tehát $CR < 0.1$, folytatható a döntési modell felépítése az alternatívák és a

szempontokhoz tartozó megoldási értékek meghatározásával. Ha nem konzisztens, akkor a páros összehasonlítási mátrixban kell korrigálni.

Fontos leszögezni, hogy egyes szempontok értékeinél a nagyobb érték számít-e jobbnak, mert ennek megfelelően kell a végső értékelést felírni. Abban az esetben, ha a szempontoknál az ellenkező reláció adja a kedvezőbb esetet, annak a reciprokát kell venni. Ezt követően az egyes alternatívákra (amelyek között rangsort akarunk felállítani) vonatkozóan szempontként a legnagyobb értékhez viszonyítva meghatározunk egy százalékos értéket (teljesítési értéket), a (4) képletben látható módon. A százalékos érték azért előnyös, mert a különböző méretű számok nem torzítják az eredményt.

$$e_{n,k} [\%] = \frac{E_{n,k}}{E_{n,k \max}} \quad (4)$$

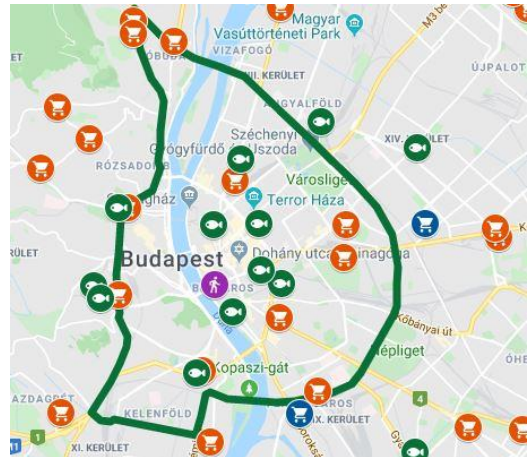
A módszer alkalmazásának utolsó lépéseként mátrixszorzást kell elvégezni az (5) képlet szerint. Az előbb kiszámolt százalékos teljesítési értékeken és az átlagos normalizált értékeken (rendre ilyen sorrendben) végezzük el a műveletet.

$$\begin{bmatrix} e_{1,1} & e_{2,1} & \dots & e_{n,1} \\ e_{1,2} & e_{2,2} & \dots & e_{n,2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{1,k} & e_{2,k} & \dots & e_{n,k} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} AV_1 \\ AV_2 \\ \vdots \\ AV_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

Így megkapjuk az egyes alternatívák számított teljesítési értékét, melyet sorba rendezve kiadódik a keresett alternatívásorrend, az egyes értékek pedig megmutatják, hogy adott jellemzők mellett az adott hálózati alternatíva milyen mértékben alkalmas városi áruszállításra.

4.2. A minősítés során alkalmazott szempontok

Mivel Budapesten dolgozunk, így vizsgálódásaink fókuszában elsősorban ez a város volt, azonban fontos leszögezni, hogy a kidolgozott minősítési modell alkalmas bármely város minősítésére, ez fontos kritérium volt a szempontok felvétele során. A magyar fővárosban jelenleg a legérzékenyebb terület a történelmi városmag, ahol különféle ösztömgazdasági korlátozások vannak jelen, de a városi áruszállítás nincs teljes mértékben jól szabályozva, illetve kevés alternatív szállítási megoldás érhető el, tehergépkocsikon felül jelenleg csak cargo kerékpárokkal lehet szállítani. Főképp a városmagba szállítandó termékek környezetbarát módon való eljuttatása a megoldani kívánt probléma jelen kutatás során. A vizsgált területet így le is szűkítettük a 10. ábrán látható módon, hiszen ez a városnak a legérzékenyebb része a teherforgalom tekintetében, és ehhez a zónához már számos korábbi city logisztikai kutatásból származó értékek állnak rendelkezésre. A teljes városra való kiterjesztés torzított volna. Az ábrán látható ikonok jelentései: zöld ikon: piac; narancssárga ikon: bevásárlóközpont; lila ikon: bevásárlóvezet (ez esetünkben a Váci utca bevásárlóvezet); kék ikon: hipermarket.



10. ábra: A leszűkített vizsgált városi terület Budapesten, koncentrált igénypont-halmazokkal, Google Maps-en

A kötétpályás lehetőségek áruszállításba való bevonásának vizsgálatára olyan szempontok definiálása volt szükséges, melyekből kép alkotható a város szerkezetéről és a kötétpályás megjelenési formák jelenlegi (illetve akár jövőbeli) helyzetéről, illetve arról, hogy azok mennyire lennének képesek ellátni a városellátással kapcsolatos feladatokat. A szempontok kiválasztása és megfogalmazása során arra törekedtünk, hogy minél általánosabb, univerzálisan (más városokra is) alkalmazható szempontrendszer alakosson meg. A szempontok átláthatósága érdekében fontosabb csoportokat hoztunk létre, így a szempontok megválasztása is könnyebbnek bizonyult. Összesen 33 szempontot gyűjtöttünk össze, amit a 6 nagy csoportba soroltunk. A szempontok, fő csoportjaik, valamint meghatározásuk módja az A mellékletben látható.

A hálózati jellemzők csoportjába tartozik a **hálózat teljes hossza**, amelynél nem csak a pályák hossza a releváns, hanem az is, hogy ezek hol és milyen sűrűséggel vannak jelen. Le lehet szűkíteni a területet arra, ahol koncentráldódik az áruforgalmi igény. Ennek értékét térképről határoztuk meg. Az **iparvágányok megléte és száma**, illetve **használatossága** kulcsfontosságú, mert külön szállítási és rakodási lehetőséget biztosítanak a forgalom akadályozása nélkül és ezek létesítenek kapcsolatot gateway-konceptió alapú megoldásokban a konszolidációs központ és az áruforgalmi zsilip között. Az ipari hálózatot tekintve csak a nagyvasúti hálózat a releváns a magyar fővárosban belül. A villamos- és a HÉV-hálózat több iparvágánnyal rendelkezett, de 1996 után visszavágták őket, a metró pedig nem rendelkezik ilyen vágányokkal. Használhatóságuk nagyban függ a hosszuktól. A **karbantartás rugalmassága** kérdéskörben a legrugalmatlanabbnak a metróét ítéltük, ugyanis ebben a zárt rendszerben egy kisebb pályát érintő probléma is megbéníthat egy egész vonalat. A többi kötétpályás alternatívát csupán eggyel ítéltük meg jobbnak. A **megállósűrűséget** a teljes hálózatokra vetítve vettük figyelembe, a (6) képlet szerint.

$$\text{Megállósűrűség} = \frac{\text{Megállószám}_{\text{teljes hálózat}}}{\text{Teljes hálózathossz}} \quad (6)$$

A **városi lefedettség**en azt értjük, hogy mekkora területen helyezkedik el az adott vasúti hálózat, tehát a hálózat hosszát (egész városra vagy adott területre) megszorozzuk egy konstans értékkel (pl. az úrszelvénnel vagy két vágány szélességében elfoglalt méretével).

$$\text{Lefedettség}_{\text{zóna}} = \frac{\text{Vonalhossz}_{\text{zóna}} \cdot \text{szélesség}}{\text{Terület}_{\text{zóna}}} \quad (7)$$

A **szükséges hálózati fejlesztések mértékét** azért soroltuk a szempontok közé, mert nem mindegy, hogy mennyire kivitelezhető az áruszállítás a mostani hálózaton, illetve az sem, hogy mennyire távolba kell nézni a jövőbe a megvalósulásért. Városellátás szempontjából fontos megvizsgálni a koncentrált igénypont-halmazok elhelyezkedését, mivel ezek jelentős áruforgalmat bonyolítanak le. Külön vizsgálat tárgyát képezhetik a nyitott (pl. a Váci utca bevásárlóövezet) és zárt infrastruktúrájú halmazok (pl. bevásárlóközpontok) **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** Ezek alapján fontos szempont nemcsak az **elérhető kerületek száma**, hanem az **elérhető koncentrált igénypont-halmazok darabszáma** is. Elengedhetetlen feltérképezni az elérhető barnazonákat is. A kisebb területűek alkalmasak áruforgalmi zsilip kialakítására, míg a nagyobbak helyére akár egy konszolidációs központ is felhúzható. Utóbbi esetben előnyös, ha a vizsgált pálya (amelyen az áruszállítás zajlana) keresztül fut ezen a területen. Így két szempontot is felvettünk, **az áruforgalmi zsilip és a konszolidációs központ kialakítására alkalmas barnamezős területek számát** is vizsgáltuk. A City Logisztikai Kutatócsoport már számos felmérést végzett az említett koncentrált igénypont-halmazokkal kapcsolatban, és emellett nagy figyelmet szentelnek a fővárosban lévő barnamezős területekre is, így rendelkezésünkre álltak valós adatok is. A lehetséges áruforgalmi zsilipek elhelyezkedésénél a kötőpályás hálózat vonalaitól vett 250 méteres távolságon belül kerestünk területeket. A konszolidációs központoknak megfelelő barnamezős területek Budapesten csak alapvetően külső kerületekben jöhetnek szóba, és már nagyobb távolságra (pl. 1 km-re) a kötőpályás vonalaktól is elhelyezhetők lennének.

A különböző kötőpályás lehetőségek eltérően vannak leterhelve a menetrendsűrűség tekintetében. A **menetrendbe illeszthetőség** során figyelembe kell venni a követési időket, rezsimeneteket, tanuló- és karbantartójáratokat, valamint a kötött pályát igénybe vevő autóbusz-vonalakat is, tehát ez egy igen fontos szempont. A forgalomszervezés szempontcsaládban kapott helyet továbbá **egy körjárat indításának költsége**. Ez a költség az alkalmazottak órabéréből, a használt eszközök esetleges bérléséből, szolgáltatás vásárlásából és egyéb kapcsolódó költségekből tevődik össze. A költségekkel szorosan kapcsolatba hozható a **humán erőforrás szükséglet**, ami költség szempontból kiadás, más oldalról viszont pozitívan elbírálnak a foglalkoztatás. Ehhez a csoporthoz tartozik még a **helyettesíthető közúti járművek száma**, tehát teherbírás alapján meghatároztuk, hogy egy szerelvény hány 3,5 tonnás teherautót helyettesíthet az adott hálózaton. Az összekapcsolható vagonok száma, férőhelyek száma mind rendelkezésünkre álltak és egy ember átlagos tömegét 80 kg-

nak vettük (Chikán, 2011). HÉV és nagyvasút esetén léteznek áruszállító kocsik, ezért ezek esetében kocsiszám és raksúly alapján számítottuk ki a maximális szállítható tömeget a (8) formula alapján. A **járművek városon belüli engedélyezett legnagyobb sebességét** is a szempontok közé vettük.

$$\text{Helyettesíthető járművek száma}_{3,5t} = \left\lfloor \frac{\text{Max. száll.tömeg}}{3,5} \right\rfloor \quad (8)$$

A rakodás során fontos, hogy az áru mekkora **távolságot** tesz meg **horizontálisan** és mekkorát hidal át **vertikálisan**, mert ez nagyban befolyásolhatja az alkalmazott technológiát és az emberi erőforrás-szükségletet. A különböző alternatíváknál megnéztük a maximális és minimális vertikális távolságokat (a jármű padlója és a felszín között), majd átlagoltuk azokat. A minimális távolság tulajdonképpen 0, hiszen az a legkedvezőbb, ha nincs magasságkülönbség. A **megállók rakodási lehetőségeit** biztosítanak az áruszállításnál, mert adott a kiépített peron, egyes esetekben a járműhöz való szintbeni csatlakozás, lift és/vagy mozgólépcső, illetve legalább az egyik végénél kijelölt gyalogátkelőhely. Felmerült az ötlet **pálya menti ideiglenes rakodóhelyek kialakítására** is. Ezekből a lehetőségekből több előny is származhat, például közelebb helyezkedik el az áruforgalmi zsiliphez vagy az igénypontokhoz, ám a legtöbb esetben a használni kívánt vonalak forgalmasok, többsávos utak között haladnak el, nincs megfelelő tér/terep a rakodáshoz (alagút, zúzottkő), így nem minden esetben lehet biztosított az elegendő hely vagy biztonságos átjárás az úton, illetve a legtöbb esetben magasságkülönbséget is át kell hidalni. **Rakodás során** meg kell említeni az **alkalmazható technikákat**. Szerencsére lehetőségek széles skáláját lehet itt felmutatni, a rámpától kezdve a liften át a targoncáig sokféle rakodástechnikai megoldás közül lehet válogatni. A különböző megoldás különböző **rakodási költséget** vonz maga után, ezért ezt is érdemes górcső alá venni. Sok esetben a rakodás **zajterheléssel** jár, ezért ezt is érdemesnek tartottuk a szempontok közé sorolni, de ez függ az alkalmazott technológiától és a rakodás környezetétől. Az éjszakai zajszint közel 63 dB, a nappali pedig 68 dB (Mázik, 2020). A villamos és a HÉV-hálózaton történő áruszállításnál felvettük a dízel meghajtású targoncák zajszintjét, így ezeknél a zajszintkülönbségek átlagos értékeivel kalkuláltunk. A metrónál a pálya földalatti elhelyezkedéséből adódóan nem vettünk fel értéket, valamint a nagyvasútnál sem, mivel itt eleve történik teherszállítás, így nem jelentene zajtöbbletet.

A meglévő járműállomány felülvizsgálata is szükséges volt. Fontos kiemelni azt a szempontot, hogy **áll-e most rendelkezésre jármű városellátást támogató áruszállításra**, ha pedig nem, akkor felmerül a jármű-átalakítás kérdésköre. Figyelembe vettük az ezzel kapcsolatos **komplexitás fokát** és **becsült költségét** is. Az előbbieket skálán értékeltük. Az áruszállítás tekintetében kritikus fontosságú a kitölthető térfogat és a **szállítható tömeg**. Az áruszállítás a személyszállításához képest bonyolultabb az **áruk sokfélesége** miatt, így ezt is vizsgálni kellett. 5 különböző áruajtát definiáltunk (darabáru, ömlesztett áru, hűtött áru, veszélyes áru, speciális pl. növény, állat), és vizsgáltuk, hogy jelenleg az alternatívákkal az ötből melyik áruajták szállítása

megoldható. Ezek különböző speciális kezelést igényelnek, más csomagolástechnikai megoldásokat, más jogi szabályozások vonatkoznak rájuk például az elszeparálásra. A **jelenlegi járművek életkor terjedelme** is vizsgálatra érdemes. Egy tetszőleges kádgörbét vizsgálva látható lesz, hogy a legnagyobb meghibásodási ráta még a járművek „fiatal” korában van, illetve amikor már átlépték a jármű tervezett élettartamát. Az öregebb járművek olyan szempontból előnyösebbek, hogy rendelkezésre áll vezető és karbantartó személyzet és az azzal szerzett tapasztalatok. A fiatalabb járműveknél lehet, hogy átképzést kell biztosítani mind vezetés, mind pedig karbantartás terén, ellenben a rövidebb bejáratási fázis után jól funkcionálhatnak. Az önzvezető technológia gyors fejlődése miatt figyelembe vettük az egyes alágazatok **automatizálhatóságát** is.

A tapasztalatok csoportnál különböző, már megvalósított (még létező vagy korábbi) city logisztikai feladatokat ellátó kötőpályás áruszállítási megoldásokat igyekeztünk figyelembe venni. Tehát a **létező/létezett kötőpályás áruszállítási rendszerek száma** fontos, hiszen ezekből a rendszerekből merített tapasztalatokat fel lehet használni későbbi városi áruszállítási rendszerek létrehozására is. A kötött pályán történő áruszállításnak **marketing „értéke”** is van. Fontos, hogyha újfajta környezetkímélő megoldást alkalmazunk, akkor az legyen látható.

A szempontok áttekintése után szeretnénk ismertetni a minősítés eredményeit is.

5. A MINŐSÍTÉS EREDMÉNYEI

Először ismertetjük a jelenlegi állapotra vonatkozó minősítés eredményeit, majd a tervezett fejlesztések várható hatását is megvizsgáljuk, ezt követően összefoglaljuk a kiválasztott városi kötőpályás hálózaton megjelenő technológiai kihívásokat, valamint a kutatás következő feladatait.

5.1. Eredmény a jelen állapotra

A jelenlegi jellemzők alapján Budapest példáján (azon belül is a korábban ismertetett, kijelölt belső területeket vizsgálva) elvégzett vizsgálat során a villamos került az első helyre. Ez részben érthető, hisz a vizsgált városi területen belül ez alkotja a legsűrűbb hálózatot, a megálló elhelyezkedése optimálisnak mondható a távolságok tekintetében is. Ami talán meglepő, hogy a nagyvasút viszonylag szorosan a második helyen áll a minősítési modell szerint, mivel a nagyvasúton létezik ma egyedül áruszállítás és az ezzel kapcsolatos eszközök és személyzet. Elképzelhető, hogy a nagyvasút városon belüli kapacitásainak jobb kihasználása esetén akár az első helyre is kerülhetne. A metró és a HÉV kissé lemaradt az előző két alternatívától.

5.2. Eredmény a jövőbeli állapotra

A budapesti jövőbeli állapotnál többek között figyelembe vettük a Balázs Mór-tervet, a BKK Zrt. fejlesztési terveit, a MÁV-HÉV tervezett fejlesztését, és további tervezett budapesti fejlesztéseket (pl. új bevásárlóközpont létesítését). A

fejlesztéseket figyelembe véve 33 szempont közül 16 szempont értéke változott meg.

1. táblázat: Az AHP-alapú minősítés eredményei

Sorrend	Alternatíva	Jelen	Jövő	Változás
1.	villamos	63,24%	64,33%	+1,09%
2.	nagyvasút	59,34%	59,48%	+0,14%
3.	metró	47,94%	48,51%	+0,57%
4.	HÉV	40,62%	41,51%	+0,89%

A két állapot összehasonlításakor nincs számottevő különbség. A legnagyobb különbség is csupán 1,1% a jelen és a jövő állapot tekintetében, tehát ugyan kijelenthetjük, hogy mindegyik hálózat kapcsán megfigyelhető a fejlődés a városi áruszállítás szempontjából, de egyiknél se igazán jelentős mértékben. Egymáshoz képest tehát nem hoz nagy változást a jövőbeli fejlesztés. Másrészt azt mutatja, hogy az eredmények változásával a módszertan is jól működik, nem kaptunk igazán kiugró értékeket, a várakozásainknak megfelelően.

Mindegyik alternatíva esetén a fejlesztések pozitív hatást értek el kisebb-nagyobb mértékben, ahogyan azt előzetesen reméltük. A változásokat megfigyelve látszik az egyenes arányosság a fejlesztések mértékével. A vizsgált zónára fókuszálva érthető, hogy a villamos és a HÉV esetében tapasztaljuk a legnagyobb változásokat, hiszen zónán belül őket érinti legjobban a fejlesztés. A fejlesztések véghezvitelekor lehetne gondolni az áruszállításra, hogy még alkalmasabbak legyen az alternatívák áruszállítási szempontból (pl. teherlift építése lehet ilyen a metró esetén). A nagyvasút esetében is jelentős változás áll be a Déli és Nyugati pályaudvar tervezett összekötésével, de sajnos ez várhatóan kis mértékben járul csak hozzá a városellátáshoz.

5.3. A kiválasztott hálózaton megjelenő technológiai kihívások

Az előbb alkalmazott AHP-módszertan megadja ugyan, hogy melyik a legjobb opció városellátó áruszállítás tekintetében (ez Budapest esetén a villamos lett), de ezt követően még rengeteg kérdés merülhet fel. A felvázolt fiktív gateway-rendszer segítségével kerestük a választ arra, hogy az ellátási lánc egyes elemei milyen szempontból alkalmasak villamossal történő áruszállításra, milyen problémák merülnek fel velük kapcsolatban, illetve hogyan lehet ez utóbbiakra megoldást találni akár a jövőbeli fejlesztésekben. Az eredményt rendszerezettük, és problémafák formájában átláthatóvá tettük. Az ellátási lánc elemein belül a megállókra fókuszáltunk, mint szűk keresztmetszetek. A terítőjáratos rendszerben 6 problémacsaládot definiáltunk, melyek rendre a forgalomszervezés, pálya, jármű, rakomány, tárolás és rakodástechnika. A problémacsaládok és a szempontok között észrevehető átfedés tapasztalható.

A **forgalomszervezés** problémacsaládban egy áruszállító járat forgalomba illeszthetőségének kérdéseit vizsgáltuk. A különböző napszakokban a követési időközöket kell figyelembe venni, így alacsony, közepes, illetve magas forgalmú időszak különböztethető meg. Nyíltvonali közlekedésnél a nyíltvonali rakodás megakaszthatja a

forgalmat, míg ezzel szemben az iparvágány esetén a rakodás nem bír forgalommegakasztó hatással, itt a korlátozó tényezőt a tolatási műveletek jelentik.

A városi közúti vasúti rendszerek infrastruktúrája legnagyobb mértékben a személyszállításhoz igazodik, így hiányoznak olyan kulcsfontosságú elemek, amik nélkülözhetetlenek egy áruszállítási rendszer létrehozásához, ezeket tárgyaltuk a **pálya** problémakörében. Idetartoznak többek között a kitérők, iparvágányok, vágánykapcsolatok és kialakításuk igen költséges. A nagyvasúti és villamos járművek kerékprofilja különbözik, és egyes kitérőkön (felfutós kitérő) való áthaladásra a nagyvasúti kerék nem alkalmas. A pálya kialakítása is nagyban függ az alkalmazott sínrendszer típusától, tehát például a tengelyterhelésekben lehet eltérés. A pálya hossz- és keresztmetszelyére is figyelmet kell fordítani a járműveknek megfelelően. A meglévő hálózatoknál a szélességre ügyelni kell különösen az ívekben.

Járművek esetén figyelembe kell venni az infrastrukturális adottságokat és érdemes szem előtt tartani a jármű sebességét, menetdinamikai tulajdonságait, a jármű hosszát és magasságát. Az alkalmazható gördülőállomány esetén azok kialakítását is fontolóra kell venni, nem mindegy, hogy egy egységet képző járművet, tolt vagy vontatott elegyeket választunk. Fontos továbbá a járművek önjáróképesége, mivel a városban közlekedő járművek esetén a tisztán elektromos verzió jobb megoldásnak bizonyul. Új kialakítású kocsik esetén érdemes lehet az emelőoldalfal és a teleszkóptetes járművekre fókuszálni. Érdemes lehet akár megfontolni a selejtezés alatt álló Ganz-csuklós villamosok átalakításának lehetőségét is.

Az **egységgrakomány** problémakörében lehetséges, praktikus kialakítású, könnyen kezelhető egységgrakományok lehetőségeit tárgyaltuk. Lehetőségként felmerült olyan zárt és stabil szállítóeszközök (konténerek) készítése, amelyek magukra hagyhatók az esetlegesen megállóknál kialakított tárolókban. Elgondolkodtató, hogy olyan szállítási egységeket tervezzünk, amelyek a következő fázis (last mile) szállítási feladatok végrehajtásánál is könnyen alkalmazhatók, cargo kerékpárokkal, vagy cargo akár cargo mopedekkel.

Villamosokkal történő áruszállítás esetén számolni kell azzal is, hogy az egységgrakományokat nem minden esetben képesek továbbítani az igénypontok vagy áruforgalmi zsilipek felé. Egyik megoldás az elzárt, fedett tároló kialakítása, ezzel foglalkoztunk a **tárolás** kérdéskörében. A járdaszigetek általában keskenyek és hosszan húzódnak el a villamosínek mellett, így a tárolónak is ehhez kell alkalmazkodnia egy ilyen megoldásban. Fontos kérdéskör itt a zárhatóság is. Felmerült a föld alatt kialakítható tároló ötlete is. Elképzelhető akár egy csomagautomata-jellegű rendszer felépítése a megállóknál.

A jármű és peron közötti magasságkülönbség áthidalására a **rakodástechnika** problémakörben kerestünk megoldást. Segédeszköz nélküli lerakodás esetén több rakodó operátor jelenléte szükséges, de olcsó, kivitelezhetősége függ a jármű kialakításától és az egységgrakományoktól és megnövelheti a rakodási időt. Rámpa alkalmazása esetén az

egységgrakományoknak kerekkel kell rendelkeznie, de szóba jöhet a szállító járművek emelőoldalfallal való ellátása. A mini mobildaruk támogatnák az egységgrakományok kezelését, de ehhez megfelelő kialakítású kocsik kellenek és a felsővezeték-hálózat is útban lehet. A horizontális távolságok leküzdésére egyi megoldás lenne, hogy a termékeket befoglaló egységeket tesszük mozgásképesé például kerekek felszerelésével. Targonca alkalmazása is szóba jöhet a távolság leküzdésére, de a burkolatot figyelembe kell venni.

5.4. További feladatok

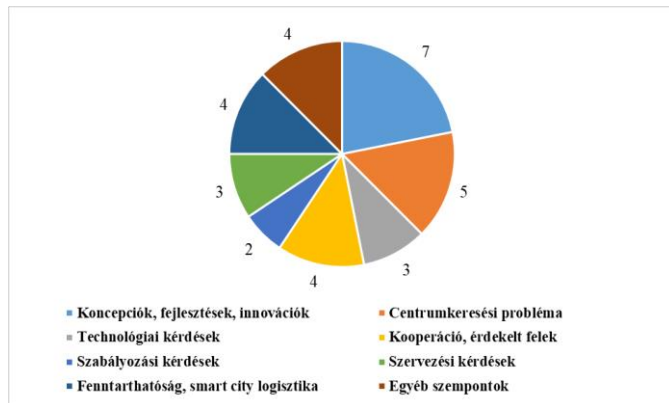
Kutatásunkhoz kapcsolódóan természetesen számos további feladatot is megfogalmaztunk. Az AHP-módszer felállított sorrend esetén mindkét esetben (a jelenben és a jövőbeli fejlesztéseket is figyelembe véve) a villamos áll az első helyen, de egy ilyen rendszer beindításának mérlegeléséhez sokkal több információra van szükség. Az áruszállítási rendszereknek nagyon összetett technológiai oldala van és a megfelelő működéshez megfelelő szervezés is szükséges, illetve a befektetési igényeket és karbantartási költségeket sem lehet figyelmen kívül hagyni. Az előbbiekhöz szorosan kapcsolódó kulcsfontosságú kérdés, hogy ki is válhatna városellátóvá. Vajon csak fentről indított állami módosítások árán lehetne bevezetni egy hasonló pilot rendszert, vagy esetleg lenne olyan vállalkozás, amely elvállalná ezt a logisztikai szolgáltatói feladatot? Ehhez szorosan kapcsolódik egy lehetséges üzleti modell kidolgozása, mellyel partnereket lehet keresni, illetve toborozni egy pilot rendszer elindulásához. A módszertan további finomítása is fontos jövőbeni feladat. Az adathiány miatt szubjektíven értékelt szempontokhoz felmérésekkel pontos adatok szerzése pontosabb megoldáshoz vezethet, továbbá érzékenységvizsgálatok lefolytatása is érdekes lehet, ez esetben arra keresve választ, hogy ha a megfogalmazott szempontok más kategóriába esnek, az hogyan befolyásolja a módszertannal történő vizsgálat végkimenetelét, mely szempontoknak van a legjelentősebb hatása a végeredményre. Érdemes lehet több szakembert és az érintett szervezeteket is bevonni a szempontok mértékadó értékelésnél (pl. BKK Zrt., BKV Zrt. Levegő Munkacsoport, önkormányzatok), mert más, több megközelítést is magában foglaló eredményt kaphatnánk. A jövőben tanulságosnak találnánk a módszertant más városokra is alkalmazni, erre például Bécs, Prága és Berlin kötőpályás hálózatai lehetnének érdekesekek.

6. TOVÁBBI MINŐSÍTÉSI MODELLEK CITY LOGISZTIKAI KUTATÁSOKBAN

Cikkünkben kulcsszerepet játszott egy AHP-alapú minősítési módszertan, amely abban nyújtott nekünk segítséget, hogy eldöntse, mely városi kötőpályás hálózat alkalmas leginkább áruszállításra. A multikritériumos modell főszerepe miatt fontosnak érezzük röviden áttekinteni azt, hogy ehhez hasonló megoldások milyen kérdésekben adhatnak nekünk segítséget a city logisztika területén.

Multikritériumos minősítési modell kidolgozása városi övezetek city logisztikai szempontú értékelésére című kutatási projektünkben (Bóna és Sárdi, 2020) részletes irodalomkutatás alapján 32 city logisztikával kapcsolatos multikritériumos

minősítési alkalmazást vizsgáltunk meg. Ez alapján elmondható, hogy a legkülönbözőbb célokra lehet ilyen modelleket alkalmazni a city logisztikában. Leggyakrabban centrumkeresési probléma megoldására, legjobb fejlesztési koncepciók kiválasztására, fejlesztési javaslatok értékelésére és fenntarthatósági kérdések eldöntésére alkalmaznak ilyen modelleket, de számos más kérdésben is előkerülhetnek (pl. partner kiválasztása, intermodális terminálok kérdéskörei, szabályozási és topológiai kérdések). A 11. ábra a különböző alkalmazások előfordulását mutatja meg, 8 fő kategóriába sorolva.



11. ábra: Multikritériumos minősítő modellekkel vizsgált területek city logisztikai kutatásokban

Ebben az említett kutatási projektben egy olyan, AHP-alapú minősítési modellt dolgoztunk ki, amely egyszerre alkalmas tetszőleges városi zónák (egyszerű igénypontokból felépülő városi zónák), valamint zárt vagy nyílt infrastruktúrájú koncentrált igénypont-halmazok **jelenlegi city logisztikai szempontú fejlettségének** és a **jövőbeli city logisztikai fejlesztési potenciáljuknak** a meghatározására is. A kettős célrendszer együttese kezelését két AHP-modell együttes alkalmazásával értük el, a szempontrendszerünket a BME, a BKK és a Levegő Munkacsoport szakemberei értékelték. A minősítési modellt 3, majd 4 budapesti bevásárlóközponton teszteltük, mivel ezekkel kapcsolatban álltak rendelkezésünkre valós adatok, illetve szimulációs modell is, a kapott eredmények pedig azt mutatják, hogy az előállt modell alkalmas lesz jövőbeli city logisztikai fejlesztési projektek támogatására is (Bóna és Sárdi, 2020).

Természetesen számos további city logisztikai kérdésben alkalmaztunk ilyen jellegű minősítési megoldásokat. Egy 2013-as projektben, a budapesti barnamezős területek vizsgálata kapcsán arra kerestünk választ a Kutatócsoportban a COMBI multikritériumos minősítési módszer (ami az AHP-nél egy egyszerűbb megoldás) segítségével, hogy **mely belvárosi barnamezős területek a leginkább alkalmasak arra, hogy áruforgalmi zsilipeket létesítsünk** rajtuk, konszolidáció alapú, kötőpályás áruszállítást is alkalmazó új city logisztikai rendszerben (Losonczi, 2013). A kapott legalkalmasabb barnamezős területeket a 12. ábra mutatja meg



12. ábra: Áruforgalmi zsilip létesítésére legalkalmasabb belvárosi barnamezős terület (Losonczi, 2013)

A koncentrált igénypont-halmazok city logisztikai rendszereit vizsgáló szimulációs modelljeink fejlesztése kapcsán is a COMBI-módszert alkalmaztuk. A korábban alkalmazott MS Excel alapú szimulációs méretéből adódóan a megfelelő számú szimulációs futtatás végrehajtása rendkívül lassúvá vált, ezen felül pedig megjelenítésre, az eredmények futás közbeni megfigyelésére, a paraméterek változtatására sem volt lehetőség. Emiatt arra jutottunk, hogy a modell további fejlesztéséhez más modellezési megoldásokat kell keresnünk. Ekkor 5 lehetséges szimulációs szoftver (AnyLogic, Arena, FlexSim, SimChain, Simul8) alkalmazási lehetőségeit értékeltük a COMBI-módszer alkalmazásával, arra keresve választ, hogy **melyik szimulációs modell felel meg leginkább a city logisztikai céljainknak**, ezek közül pedig az AnyLogic-t választottuk ki (Sárdi, 2019).

Ezekon felül még az AHP-módszer egy alkalmazását érdemes megemlíteni kutatásainkból. A városi koncentrált igénypont-halmazok áruforgalmi zsilipeinek méretezési lehetőségeit vizsgálva Budapesten, azt vizsgáltuk, hogy **mely jármű méretkategóriára érdemes méretezni ezeket a zsilipeket**. Beszállító járműveknek háromféle lehetséges összetömegű tehergépkocsit (3,5 t; 7,5 t; 12 t) modelleztünk az aktuálisan jellemző méreteket és a behajtási lehetőségeket figyelembe véve, a három megoldást pedig 11 különböző paraméter szerint az AHP segítségével hasonlítottunk össze (Bóna et. al., 2019).

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben arra kerestünk választ, hogy lehetne meghatározni azt, hogy mely városi kötőpályás hálózatot lehetne elsődlegesen városellátási, áruszállítási feladatokra alkalmazni. Elsősorban Budapest példáján vizsgálódva a különböző kötőpályás alternatívák rangsorolásánál a villamos került az első helyre jelen és jövőbeli állapotra nézve egyaránt, de a jelenleg kapott eredmény csupán iránymutatóként szolgál, mivel még sok esetben nem a megfelelő pontosságú értékekkel dolgoztunk. Második helyre a nagyvasúti hálózat került, ezt követi a metró, illetve a HÉV-hálózat. Más városok esetén értelemszerűen más-más módon jelennének meg az egyes szempontok, például Berlinben kiemelt fontosságú az S-Bahn hálózat, Barcelonában több

különböző nyomtávon működik a metróhálózat, Bécsben pedig a városi villamos hálózat és a Wiener Lokalbahnen HÉV-jellegű hálózata fedi egymást a belvárosi szakaszokon. Ennek ellenére úgy gondoljuk, hogy a kidolgozott modell megfelelő kiindulási alapot szolgáltat a későbbi alkalmazásra, és akár más városokon való tesztelésre is alkalmas.

Ahhoz, hogy egy villamos (vagy más, adott helyzetben legjobbnak bizonyuló városi kötőtpályás megoldás) által támogatott áruszállító rendszer megvalósuljon, számos problémával kell még szembenézni. Egy általunk vizsgált fiktív gateway-rendszer segítségével kerestük a választ, hogy az ellátási lánc egyes elemei milyen szempontból alkalmasak villamossal történő áruszállításra, milyen problémák merülnek fel velük kapcsolatban, illetve hogyan lehet ez utóbbiakra megoldást találni akár a jövőbeli fejlesztésekben. 6 problémacsaládot fogalmaztunk meg és különböző ajánlásokat tettünk egy-egy probléma megoldására, melyből látható, hogy a villamosokkal történő városellátás nem megoldhatatlan. A városra jótékony hatással lenne, mind a közút leterheltségének csökkentése miatt, mind pedig a környezetvédelmi kérdések szempontjából.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk 6. fejezete: „AZ INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-20-3 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT

SAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.”



HIVATKOZÁSOK

BME-ALRT (2020). City Logisztikai Kutatócsoport honlapra.

URL: <https://www.logisztika.bme.hu/citylog/>

Bóna, K., Róka, Á., Sárdi, D. (2019). Városi koncentrált igénypont-halmazok áruforgalmi zsilipjeinek méretezése Budapesten. *XIII. IFFK Konferencia (Innováció és fenntartható felszíni közlekedés) 2019, Budapest.*

Bóna, K., Sárdi D. L. (2019). A városi koncentrált igénypont-halmazok áruellátási rendszerének új koncepciói a különböző közlekedési alágazatok lehetőségeinek kihasználásával. *XIII. IFFK Konferencia (Innováció és fenntartható felszíni közlekedés) 2019, Budapest.*

Bóna, K., Sárdi D. L. (2020). AHP alapú multikritériumos minősítési modell kidolgozása és alkalmazása városi övezetek city logisztikai szempontú értékelésére. *Közlekedéstudományi Konferencia 2020, Győr.* Megjelenés alatt.

Chikán, G. (2011). Utastömeg. *kisvasut.hu*. URL: https://www.kisvasut.hu/view_cikk.php?id=1592

Donegan, H.A., Dodd, F. J. (1991). A note on saaty's random indexes. *Mathematical and Computer Modelling* **15/10**, 135-137.

Halász, P. (2017). Megmarad a CarGoTram. *RegionalBahn.hu*. URL: <http://www.regionalbahn.hu/2017/03/CarGoTram-comeback.html>

Hampage (2020). Elveszett sínek. URL: <http://hampage.hu/kozlekedes/sinekbuda2.html>

HamPLÓ (2012). Teherszállítás a BKV vágányain. *hamster.blog.hu*. URL: https://hamster.blog.hu/2012/06/02/teherszallitas_a_bkv_vaganyain

Kormos, H. (2020). AHP alapú multikritériumos értékelési módszertan kidolgozása a városi kötőtpályás áruszállítás lehetőségeinek vizsgálatára Budapesten. *BME-ALRT Szakdolgozat, 2019-20/II.*

Kormos, H., Major, P., Pintér, S. M., Szöllös, G. (2019). A budapesti metróhálózatban rejlő áruszállítási lehetőségek feltárása. *BME-ALRT Logisztikai projektirányítás, 2018-19/II.*

Kormos, H., Major, P., Posta, M. I. (2019). A városi közúti-vasúti áruszállítás újragondolása a városi ellátási láncba integrálva. *BME KJK TDK 2019.*

Kormos, H., Major, P., Posta, M. I. (2019). Multikritériumos értékelési módszertan kidolgozása a városi kötőtpályás áruszállítás lehetőségeinek vizsgálatára. *BME KJK TDK 2019.*

Logistiktram (2020). Idee. *Logistiktram.de*. URL: <http://www.logistiktram.de/index.html>

Losonczy, D. (2013). Budapest barna zónáinak city logisztikai célú felhasználási lehetőségeinek elemzése. *BME KJK TDK 2013.*

Mázik, D. (2013). Áruszállítás Budapest villamos és HÉV hálózatán. *BME KJK TDK 2013.*

Nagy, I. (2013). Műszaki diagnosztika – 1. gyakorlati diagnosztika. URL: https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0013_muszaki_diagnosztika_1_gyakorlati_diagnosztika/tmk1.html

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process – What it is and how it is used. *Mathematical Modelling*. **9/3-5**, 161-176.

Sárdi, D. (2019). Budapesti koncentrált igénypontok city logisztikai rendszerének matematikai és szimulációs modellje. *BME-ALRT Diplomatervezés, 2018-19/II.*

Stadt Zurich (2020). Cargo-Tram und E-Tram. URL: https://www.stadt-zuerich.ch/zed/de/index/entsorgung_recycling/sauberes_zuerich/wo_%2B_wann_entsorgen/cargo-tram_und_e-tram.html

VDV (2020). VGF Konzepte. *Verband Deutscher Verkehrsunternehmen*. URL: <https://www.vdv.de/innovation-und-infrastruktur.aspx>

VEKE (2007). 10 éve szűnt meg a teherszállítás a BKV villamosvasúti és HÉV-vonalain. *Városi és Elővárosi Közlekedési Egyesület*. URL: <http://veke.hu/2007/02/10-eve-szunt-meg-a-teherszallitas-a-bkv-villamosvasuti-es-hev-vonalain/>

Villamosok.hu (2020). A BKV teherszállításáról. <http://villamosok.hu/balazs/teher/index.html>

Villamosok.hu (2020). Külső és belső szállítás. URL: <http://villamosok.hu/balazs/teher/belso.html>

Melléklet A. Az alkalmazott szempontok, csoportjaik és kiszámításuk módja

Szempontok csoportja	Szempontok	Számított/leolvasott	Skálán értékelt	Logikai döntés
Hálózat	Hálózat teljes hossza	x		
	Jelenlegi iparvágányok hossza	x		
	Jelenlegi iparvágány-hálózat alkalmazhatósága			x
	Karbantartás rugalmassága		x	
	Megállósűrűség a nem célfuvarban történő megállóban való lerakódás esetére	x		
	Lefedtettség	x		
	A szükséges hálózati fejlesztések mértéke		x	
Kiszolgált terület	Elérhető kerületek száma	x		
	Elérhető koncentrált igénypont-halmazok darabszáma	x		
	Áruforgalmi zsilip kialakítására alkalmas, érintett barnamezős területek száma	x		
	Konzolidációs központ kialakítására alkalmas, érintett barnamezős területek száma	x		
Forgalomszervezés	Menetrendbe való illeszthetőség		x	
	Egy körjárat indítási költsége		x	
	A kirakodás becsült humán erőforrás szükséglete		x	
	Helyettesíthető közúti járművek száma	x		
	Járművek átlagos sebessége a városon belül		x	
Rakodástechnika	Átlagos vertikális anyagmozgatási távolság a szállítójárműtől az üzletek szintjéig	x		
	Átlagos horizontális anyagmozgatási távolság a járműtől a kiszolgált üzletekig		x	
	Rakodási lehetőségek a megállóban		x	
	Pálya menti ideiglenes rakodóhelyek kialakítási lehetőségei			x
	Rakodástechnikai megoldások a kirakodásnál		x	
	Rakodástechnikai megoldások költségei		x	
	A rakodási zajterhelés várható nagysága	x		
Gördülőállomány	Áruszállításra alkalmassá tehető járművek megléte			x
	Járművek átalakításának becsült költsége		x	
	Járművek átalakításának komplexitási foka		x	
	Jelenlegi eszközök terhelhetősége (egy járat során szállítható tömeg maximális értéke)	x		
	Előre definiált árufajták szállítására való alkalmazhatóság	x		
	Jelenlegi járművek életkorterjedelme	x		
	Automatizálhatóság hosszabb távon		x	
Tapasztalatok	Az ismert pilot rendszerű megoldásokból üzemszinten is fennmaradt rendszerek száma (jelen)	x		
	Ismert pilot rendszerű megoldások száma az egyes alternatívákra vetítve (múlt)	x		
	A megoldás marketing "értéke"		x	