

Egy korszerű elektronikus fuvar- és raktárbörze kifejlesztése

Kovács Gábor

tanársegéd

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki Kar, Közlekedésüzemi Tanszék

kovacsg@kku.bme.hu

+36-1/463-1926

A tanulmány első részében az elektronikus fuvar- és raktárbörzék javasolt moduljainak, funkcióinak rövid, összefoglaló jellegű bemutatására kerül sor. A továbbiakban olvasható az elektronikus kereskedelmi eszközök integrálásának módja, valamint a börzén felmerülő döntési problémák megoldása során segítséget nyújtó algoritmus kialakítása. Az ezt követő részben kerül ismertetésre a járatok optimalizálását és a tárolótér kihasználtságának javítását elősegítő hangyakolónia algoritmus, valamint itt olvasható az elektronikus fuvar- és raktárbörzék ismert alkalmazási körének kiterjesztése.

Kulcsszavak: elektronikus fuvar- és raktárbörze, e-kereskedelem, döntéstámogatás, optimumkeresés, járattervezés

Bevezetés

Az elektronikus kereskedelem elterjedésével (pl. web shopok, online aukciók) egy időben megjelentek az Interneten a logisztikai szolgáltatók és azok szolgáltatásait igénybe vevők online kapcsolatát biztosítani hivatott börzék. A legkorábbi és egyben a legelterjedtebb az elektronikus fuvarbörze, amelyben szabad szállítási kapacitások és szállítási feladatok jelennek meg. Kevésbé elterjedt az elektronikus raktárbörze, melyben szabad raktározási kapacitások és raktározási feladatok között lehet keresni az igényeknek megfelelően. A jelenleg ismert és használt fuvar- és raktárbörzék nem rendelkeznek kifinomult e-kereskedelmi eszközökkel, belső támogató algoritmusokkal, többnyire csupán egyszerű hirdetésként jelenítik meg az ajánlatokat, korlátozott keresési/kiválasztási lehetőséggel. A felhasználás is igen szűk területre korlátozottan valósul meg. A kutatás célja így egy olyan, korszerű elektronikus fuvar- és raktárbörze rendszer kifejlesztése, amely a közeli jövőben a logisztikai szolgáltatások virtuális gyűjtőhelye lehet.

1. A kifejlesztett elektronikus fuvar- és raktárbörze rendszermodellje

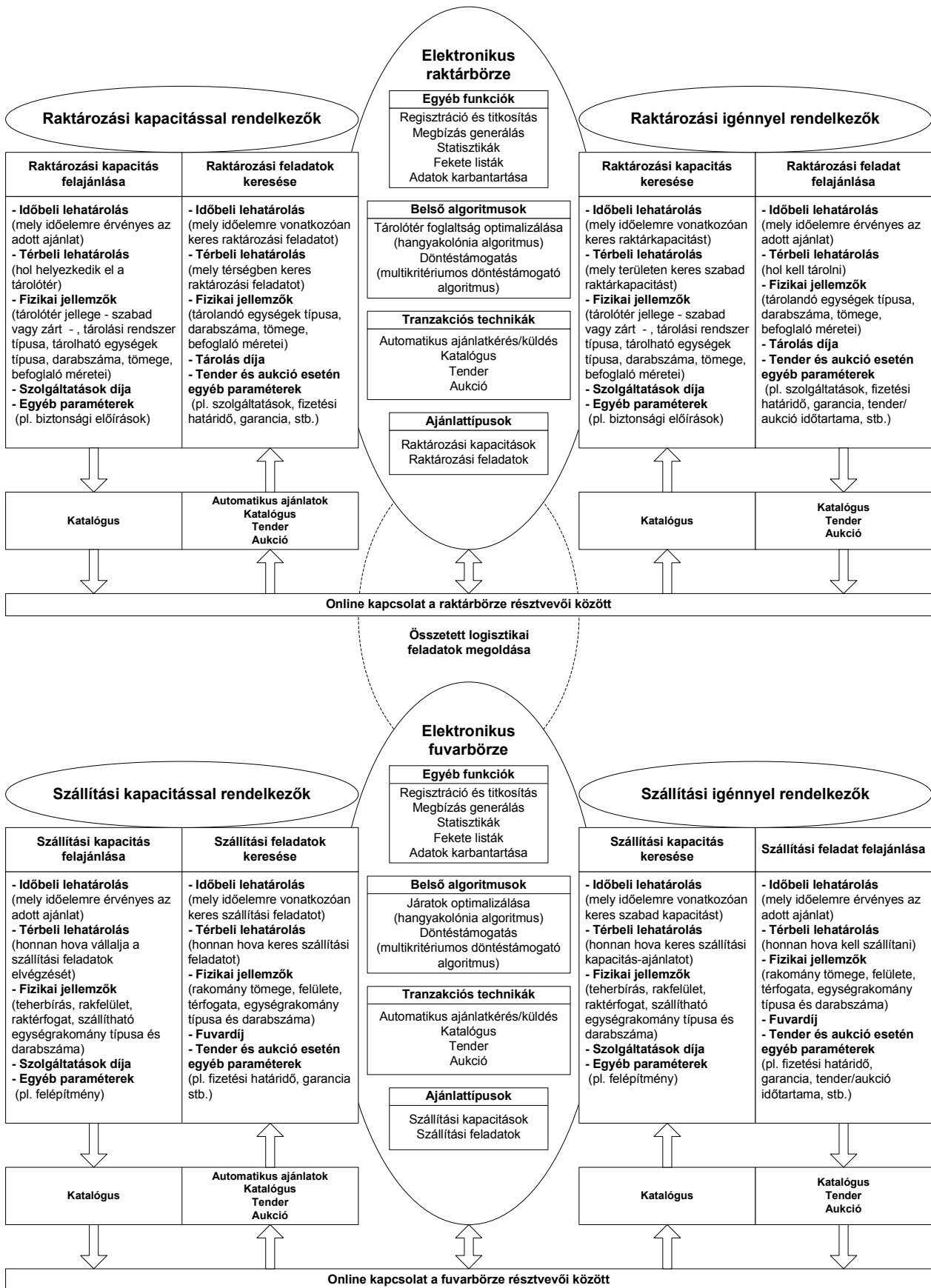
Az elektronikus fuvar- és raktárbörze résztvevői a logisztikai szolgáltatók (szállítási és raktározási kapacitással rendelkezők), a logisztikai szolgáltatásokat igénybe vevők, valamint a piactér üzemeltetője. A börze alapvető céljai a kínálati és a keresleti oldal összehangolása, az ajánlatkérési/adási folyamat támogatása korszerű elektronikus kereskedelmi és döntéstámogató eszköztár segítségével, valamint a

felhasználók belső folyamatainak optimalizálása. Az 1. ábrán látható a kutatás során tervezett elektronikus fuvar- és raktárbörze rendszermodellje (Kovács 2006, Kovács 2008b, Kovács 2009a). Az ábra két, struktúrájában egymáshoz hasonló részből áll, az egyik a fuvarbörzét, a másikon a raktárbörzét bemutatva, valamint felépítését és funkcióit röviden összefoglalva. Az ábra bal oldali részén látható a kínálati oldal (szállítási-, ill. raktározási kapacitással rendelkezők), a jobb oldalán pedig a keresleti oldal (szállítási-, ill. raktározási feladatokat meghirdető). Az ábra középső részén helyezkedik el a fuvar-, ill. a raktárbörze tulajdonképpeni magja, a szolgáltatásokkal és belső algoritmusokkal.

Az elektronikus fuvarbörze esetén a szállítási kapacitással rendelkezők számára lehetőség van a szabad szállítási kapacitások meghirdetésére, azok fő jellemzőinek (időbeli és térbeli lehatárolás, fizikai jellemzők, szolgáltatások díja, egyéb jellemzők) fuvarbörzébe történő felvitelével. Az ajánlatadás egyszerűen (úrlapon), az adatok hirdetés módjára történő rögzítésével zajlik, a fenti jellemzők figyelembe vételével. A szállítási igénnyel rendelkezők hasonló jellemzők segítségével definiálhatják az elvégzendő szállítási feladatot, viszont ez esetben nem csupán katalógusba történő rögzítéssel, hanem aukció vagy tender kiírásával is megindítható az ajánlatkérés folyamata (ld. 2. fejezet). A szállítási kapacitással rendelkezők számára e két utóbbi lehetőség azért nem adott, mert várhatóan a fuvarbörzén sokkal több kapacitás jelenik meg, mint igény, így a szállítási kapacitással rendelkezőknek tender és az aukció útján versenyezniük kell. Az ajánlatok keresésére egy negyedik tranzakciós lehetőség is adott, ez az un. automatikus ajánlatkérés/küldés.

Az e-kereskedelmi eszközök terén az igazi előrelépést a tenderek és az aukciók integrálása jelenti, melyek esetén a kiírt feladat elnyeréséért versenyeznek a logisztikai szolgáltatók. A tenderek és az aukciók lebonyolítása során a megfelelő ajánlatok közötti választást multikritériumos döntésegítő algoritmus (MDA, 3. fejezet) támogatja. A fuvarbörzék esetén a szállítási kapacitással rendelkezők számára lehetőség van a járatok egyedi optimalizálására (ld. 4. fejezet). Ezeken felül számos kisebb funkció (pl. fekete listák a nem korrekt felhasználók kiszűrésére) is az eszköztár részét képezi.

A raktárbörzék a fuvarbörzékkel analóg módon épülnek fel, annyi kivétellel, hogy esetükben szabad raktározási kapacitások és raktározási igények képezik az ajánlatkérés/adás tárgyát. A raktárbörzén lehetőség van a raktár kapacitás kihasználtságának optimalizálására is (4. fejezet). Az elektronikus fuvar- és raktárbörze egy rendszerbe integrálásával összetett logisztikai feladatok oldhatók meg (5. fejezet). A tervezett fuvar- és raktárbörze funkcióinak, algoritmusainak rövid bemutatását a következő fejezetek tartalmazzák. Az 1. ábrán szereplő fuvar- és raktárbörze logikai és fizikai adatmodellje MS Access adatbázis kezelő segítségével került kifejlesztésre és tesztelésre.



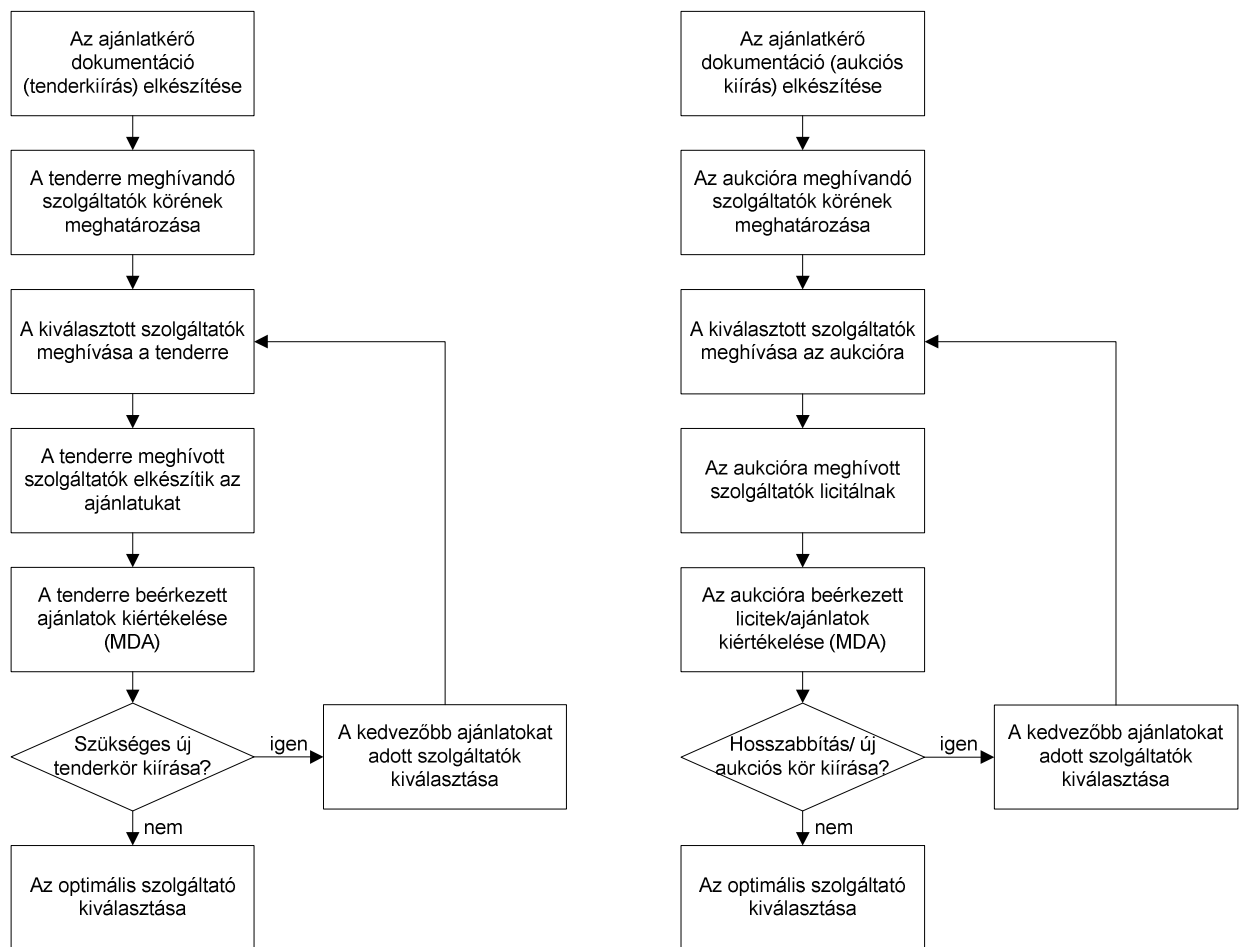
1. ábra: A tervezett elektronikus fuvar- és raktárbörze rendszermodellje

2. Az alkalmazott e-kereskedelmi eszközök

Az elektronikus fuvar- és raktárbörzében alkalmazott, legegyszerűbb elektronikus kereskedelmi eszköz a katalógus. Az ajánlatadás (szállítási kapacitás, szállítási igény, raktározási kapacitás, raktározási igény) egy űrlap segítségével történhet, amelyben az adott ajánlattípus összes fontos paraméterét meg kell adni. Ebben a katalógusban több szempont alapján lehet keresni, ill. a megfelelő ajánlatot kiválasztani. A felhasználása igen egyszerű, a jelenlegi ismertebb és kifinomultabb raktárbörzék már biztosítanak ilyen jellegű szolgáltatást. További, szintén nem bonyolult, ám a rendszert igénybe vevők számára vonzó kényelmi funkció lehet, hogy a felhasználók által előre beállított szűrési feltételek alapján bizonyos időközönként számukra várhatóan megfelelő ajánlatokat kapnak (pl. egy fuvarozó értesítést kap új, neki megfelelő szállítási feladatról, napi rendszerességgel e-mail-ben).

Sokkal kifinomultabb, és összetettebb ajánlatkérési forma a szolgáltatók versenyeztetésére szolgáló tender és aukció (*Kovács 2008a, Kovács 2008c, Kovács 2008e, Kovács 2009b*). Tenderek esetén (a 2. ábrán a bal oldali folyamatábra) a kiírónak pontosan definiálnia kell a szállítási/raktározási feladat jellemzőit, valamint a tender összes lényeges paraméterét (pl. a benyújtandó ajánlat formai követelményei, az ajánlatadás módja és technikája, határidők, kapcsolattartás módja), melyeket tenderkiírás formájában oszthat meg a kompetenciáik alapján meghívandó szolgáltatókkal. Az ajánlatok elkészítése a legnagyobb időigényű folyamat, ami alatt folyamatos kapcsolattartás szükséges a félreértések és hibák elkerülése érdekében. A szolgáltatók ajánlatainak elkészítését követően multikritériumos döntéstámogató algoritmus (MDA) segít az ajánlatok kiértékelésében. Kiírható újabb tenderkör is (vagy lefolytatható ártárgyalás), ha például az aktuális körben készült ajánlatok közel azonos értékűek, vagy pedig az eredeti kiírásban rögzített feladat időközben módosult. A cél minden esetben a kiírásban szereplő feladatnak leginkább megfelelő szolgáltató kiválasztása.

Aukciók során (2. ábrán a jobb oldali folyamatábra) a tendereztetéshez hasonló folyamat zajlik le, ám ez esetben egy fordulóban a szolgáltatók nem csupán egyszer, hanem többször is tehetnek ajánlatot a meghirdetett paraméterekre (licitálhatnak), az aukció a befejezését követően meghosszabbítható. Ezek jellemzően fordított angol jellegű aukciók, amelyben egy ajánlatkérő és több ajánlatadó van jelen, az árajánlatok (pl. fuvardíj, raktározási díj) egyre csökkennek. A licitparamétereket az aukciós kiírásban rögzíteni kell, ezek súlyszámmal rendelkeznek (súlyozott paraméteres aukció). A licitálást ösztönözheti az, hogy a licitálók az MDA szerinti sorrendjüket láthatják (felsorakoztatott aukció), ill. akár a konkrét ajánlatokat is meg lehet jeleníteni, megegyezéstől és aukciós kiírástól függően, de lehet vakon is licitálni. Amennyiben újabb aukciós körök kerülnek kiírásra, lépcsőzetes aukcióról beszélünk. Az aukció kiírójának lehetősége van komplex feladat részeit (pl. raktározás és szállítás) külön-külön, ill. egybe aukcióztatni. A szolgáltatók e miatt konzorcium keretein belül is adhatnak ajánlatot.

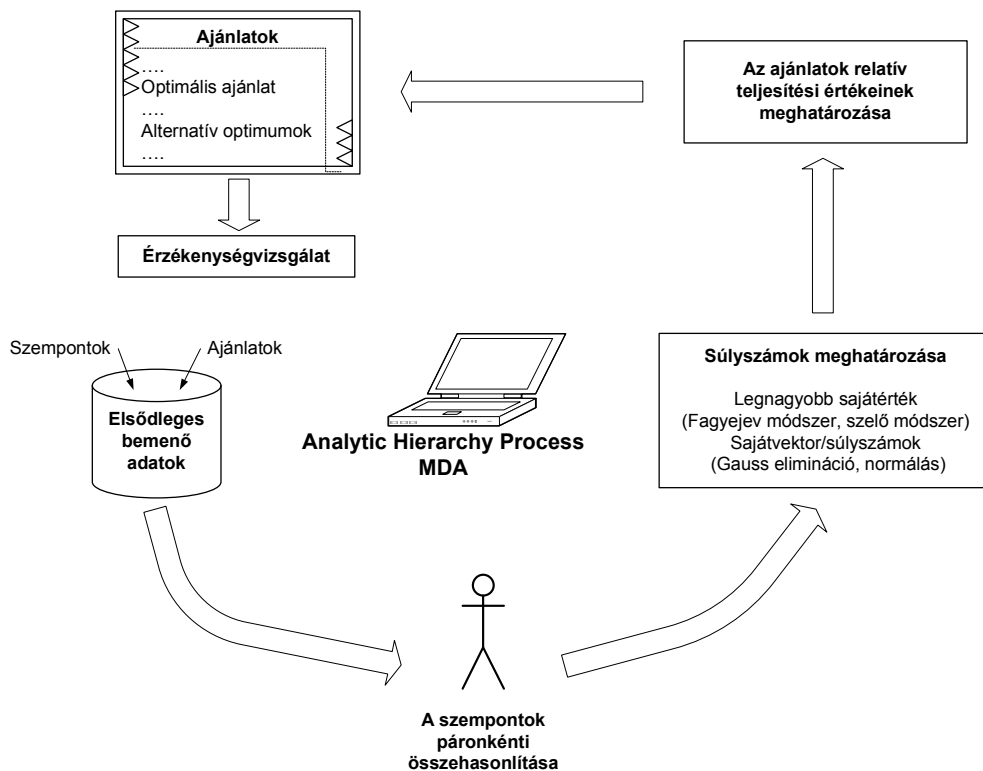


2. ábra: A tenderek és az aukciók lebonyolításának nagyvonalú folyamatábrája

3. A döntéstámogató algoritmus

A fuvar- és raktárbörzékben alkalmazható, AHP-n alapuló (Saaty 1990, Saaty 1994, Winston és Wayne 2003, Rapcsák 2007,) multikritériumos döntéstámogató algoritmus (MDA) (Kovács 2008a, Kovács 2008d, Kovács 2009a, Kovács 2009b, Kovács 2009d) nagyvonalú folyamatábrája a 3. ábrán látható. A kidolgozott módszer első lépéseként definiálni kell a kiértékelés alapját képező szempontrendszert (fő- és alszempontok), majd a beérkezett ajánlatok tulajdonságait eme szempontoknak megfelelően ki kell gyűjteni. Ezt követi a módszer legnagyobb emberi befolyást igénylő lépése, a páros összehasonlítások elvégzése, melynek során a kiértékelést végző személy a szempontok egyenkénti összehasonlítása által felépíti a páros összehasonlítás mátrixot (A, 1. táblázat), amely a szempontok egymáshoz képest fontosságát mutatja meg (a mátrixban 0..9 között szerepelnek számok, az egymáshoz képesti fontosságnak megfelelően, reciprok mátrix). A páros összehasonlítás a súlyszámarányokat adja meg, így a mátrix legnagyobb sajátértékéhez tartozó sajátvektora (λ_{\max}) tartalmazza a szempontok súlyszámait (w):

$$(Aw)_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}w_j = \sum_{j=1}^n \frac{w_i}{w_j} w_j = \sum_{j=1}^n w_i = nw_i$$



3. ábra: Az MDA nagyvonalú működési folyamata

<u>A</u>	A ₁	A ₂	...	...	...	...	A _n
A ₁	w ₁ /w ₁	w ₁ /w ₂	...	...	...	...	w ₁ /w _n
A ₂	w ₂ /w ₁	w ₂ /w ₂	...	...	...	...	w ₂ /w _n
...
...
...
...
A _n	w _n /w ₁	w _n /w ₂	...	...	...	...	w _n /w _n

1. táblázat: A páros összehasonlítás mátrix felépítése

A mátrixszal kapcsolatban alapvető elvárás a konzisztencia (a szempontok egymáshoz képesti fontosságában ne legyen ellentmondás), ám bizonyos határig az inkonzisztencia (CI) is megengedhető:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} < 0,1$$

Miután a szempontokhoz tartozó súlyszámok meghatározásra kerültek, ki lehet számítani az egyes ajánlatok teljesítési értékét. Ez alapján például a k. ajánlat teljesítési értéke (főszempontok: i=1...f,

alszemponatok: $j=1\dots a$) a szempontok súlyszámainak (főszempont esetén w_i , alszemponat esetén w_{ij}) és a k . ajánlat egyes szempontok szerinti jóságát kifejező számoknak (az adott szempontból az adott ajánlat a legjobb ajánlat hány százalékát teljesíti, T_{ij} az i . főszempont j . alszemponatja szerinti érték, pl. ár esetén az ajánlat ára, a minimum és a maximum ár) a segítségével számítható ($\acute{E}_k=0\dots 1$):

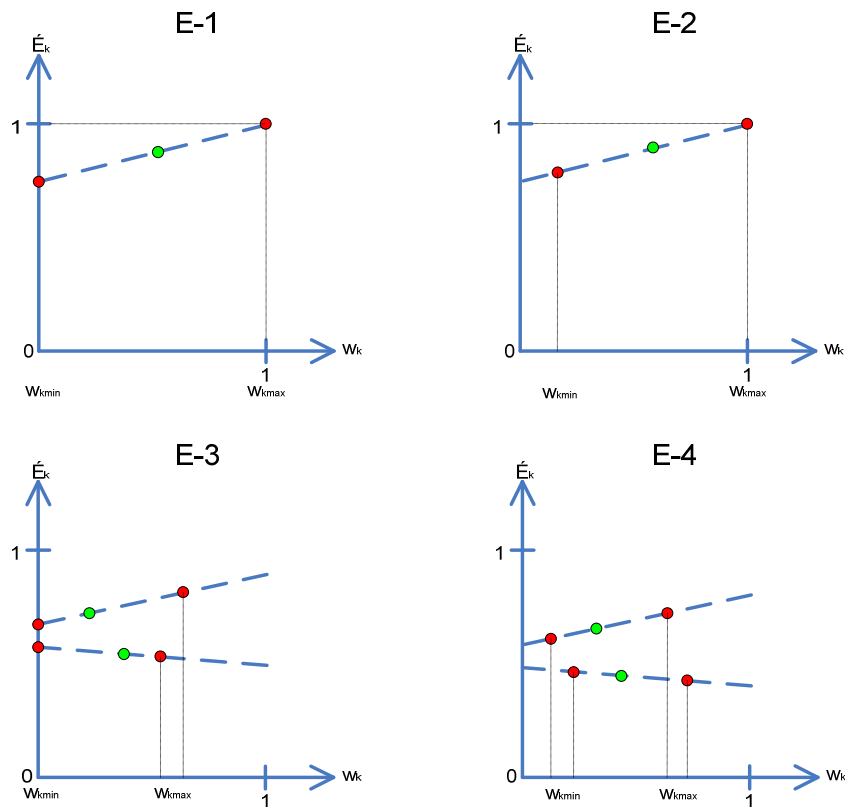
$$\acute{E}_k = \sum_{i=1}^f w_i \sum_{j=1}^a w_{ij} R_{ij}^k$$

$$R_{ij}^k = \frac{T_{ij}^k}{T_{ij}^{max}}, \text{ ha } T_{ij}^{max} \text{ a legkedvezőbb,}$$

$$R_{ij}^k = \frac{T_{ij}^{min}}{T_{ij}^k}, \text{ ha } T_{ij}^{min} \text{ a legkedvezőbb}$$

A legnagyobb teljesítési értékkel rendelkező ajánlat a legkedvezőbb, így a cél ennek kiválasztása. Sok esetben a fenti teljesítési értékek egyes ajánlatok esetén olyan közel vannak egymáshoz, hogy e miatt kellhet újabb tenderköröket kiírni. A módszerben fellelhető legnagyobb bizonytalanságot a súlyszámok meghatározása okozza. Ennek kiszűrésére, vagy éppen a kapott eredmény stabilitásának vizsgálatára szolgál a kifejlesztett érzékenységvizsgálati eljárás (Kovács 2009d), amelynek segítségével a súlyszámok változtatásának hatására fellépő teljesítési érték, és az ez általi sorrendváltozás hatásait lehet mérni, elemezni. Az alapszabály, hogy a súlyszámokkal kapcsolatos kitételek (a súlyszámok $0\dots 1$ közé eshetnek, az azonos hierarchiaszinten lévő szempontok súlyszámainak összege egy) továbbra is érvényesek, valamint a módosított súlyszámhoz tartozó szemponton kívül az összes többi szempont egymáshoz képesti relatív súlya változatlan marad. Négyféle szemponttípus (4. ábra) került definiálásra, attól függően, hogy a kiinduló súlyszám értékek mellett kalkulált első helyezett ajánlat teljesítési értéke miként reagál a súlyszámok módosítására. Ennek megfelelően első lehetőségként szabadon változhat az adott szempont súlyszáma $0\dots 1$ között (E-1), de ennek nincs hatása az első helyezett kilétére. A további típusok esetén vagy alsó határ (E-2), vagy felső határ (E-3), vagy pedig alsó és felső határ együttesen létezik (ezek nem 0 vagy 1), vagyis ezek átlépése után más ajánlat lesz a legnagyobb teljesítési értékkel rendelkező. A kiinduló súlyszámok mellett adódó legkedvezőbb ajánlat súlyozott teljesítési értékének változását az adott szemponttípusokat is figyelembe véve a 4. ábrán lehet látni.

A maximális szenzitivitás vizsgálat (Péter 1997) segítségével az is értékelhető, hogy mely ajánlat teljesítési értéke reagál érzékenyebben az egyes súlyszámok módosítására (az egyes szempontok súlyszámainak 1%-os változásának hatására bekövetkező teljesítési érték változást adja meg (Kovács 2009d)). A kiértékelés megbízhatósága, pontossága tovább növelhető a csoportos döntéshozatal által, melynek során több döntéshozó egymással kooperálva, vagy először külön-külön, majd azok eredményeit súlyozva készíti el a kiértékelést. Az MS Visual Basic nyelven (VBA), MS Excel környezetben fejlesztett MDA segítségével készített kiértékelésre mutat példát a 2. táblázat



4. ábra: Az érzékenységvizsgálat alapesetei, jellemzői az MDA modellben

Ssz.	Főszempont		Ssz.	Alszezpont		Értelmezés	Alternatívák						Ideális
	Név	Súlyszám		Név	Súlyszám		1	2	3	4	5	6	
1	Összköltség (millió Ft)	0,5	1	Összköltség (millió Ft)	1	K	420,8	525,04	590,4	585,56	447,98	1388,2	420,8
2	Szolgáltatás térbeli kiterjedtsége	0,2	1	Szolgáltatás térbeli kiterjedtsége	1	N	0,2143	0,1071	0,4286	0,125	0,0714	0,0714	0,4286
3	Szolgáltatási kör kiterjedtsége	0,15	1	Szolgáltatási kör kiterjedtsége	1	N	0,125	0,25	0,125	0,1279	0,125	0,25	0,25
4	Saját járműflotta megléte	0,05	1	Saját járműflotta megléte	1	N	0,2093	0,2558	0,1279	0,1279	0,1453	0,1337	0,2558
5	Referenciák	0,1	1	Iparági referencia	0,6	N	0,1379	0,1379	0,1379	0,2759	0,1379	0,1724	0,2759
			2	Bizalom	0,4	N	0,1429	0,2857	0,1429	0,1429	0,1429	0,1429	0,2857
1	Összköltség (millió Ft)	0,5					1	0,8015	0,7127	0,7186	0,9393	0,3031	1
2	Szolgáltatás térbeli kiterjedtsége	0,2					0,5	0,25	1	0,2917	0,1667	0,1667	1
3	Szolgáltatási kör kiterjedtsége	0,15					0,5	1	0,5	0,5116	0,5	1	1
4	Saját járműflotta megléte	0,05					0,8182	1	0,5	0,5	0,5682	0,5227	1
5	Referenciák	0,1					0,5	0,7	0,5	0,8	0,5	0,575	0,8
Alternatíva sorszáma							1	2	3	4	5	6	
Végso pontszámok							0,7784	0,7382	0,7189	0,6194	0,6689	0,4329	
Alternatíva sorszáma							1	2	3	5	4	6	
Alternatívák végső sorrendje							0,7784	0,7382	0,7189	0,6689	0,6194	0,4329	

Az "1" alternatíva első helyen történő rangsorolását biztosító súlyszámok					
Főszempont megnevezése és súlyszámának jellege		Súlyszámhatárok		Az "1" alternatíva teljesítési érték-változásának jellege	
		Alsó határ	Felső határ		
Összköltség (millió Ft)	E-2	0,36	1	monoton növekvő	
Szolgáltatás térbeli kiterjedtsége	E-4	0,03	0,28	monoton csökkenő	
Szolgáltatási kör kiterjedtsége	E-3	0	0,21	monoton csökkenő	
Saját járműflotta megléte	E-3	0	0,22	monoton növekvő	
Referenciák	E-3	0	0,22	monoton csökkenő	

2. táblázat: Példa az MDA alkalmazására (sorrend felállítása, érzékenységvizsgálat)

4. Az optimum kereső algoritmusok

Az elektronikus fuvar- és raktárbörzék a bennük szereplő nagyszámú szállítási- és raktározási feladat által jó optimalizálási lehetőséget nyújtanak a szabad jármű-, ill. tárhely kapacitással rendelkezők számára. A szabad szállítási kapacitással rendelkezők a fuvarbörzében megjelenő szállítási feladatokból optimális hasznot nyújtó járatokat tudnak kialakítani (VRP – Vehicle Routing Problem). A járatok jellegük szerint az alábbi csoportokba sorolhatóak: egyszerű, kapcsolódó, gyűjtő/elosztó. Az egyszerű járatok esetén mindig egy szállítási feladat kerül végrehajtásra, a kapcsolódó járatoknál pedig egy szállítási feladat befejezését egy újabb megkezdése követheti (a korlátozó feltételek által meghatározott módon), a gyűjtő/elosztó járatoknál pedig egy időben akár több szállítási feladat teljesítése is végezhető. A kevésbé összetett optimumkeresési eljárás, és a várható haszon mértéke miatt a kapcsolódó járatok képezik a további vizsgálatok tárgyát. Az optimumkeresés a hangyakolónia algoritmus (*Dorigo és Gambardella 1997, Dorigo és Stützle 2004*) logikája alapján került kialakításra. Az 5. ábra bal oldalán a kapcsolódó járatok optimalizálása esetén alkalmazható hangyakolónia algoritmus (FB_ACO) nagyvonalú folyamatábrája látható (*Kovács 2010b, Kovács 2011*).

Az eljárás lényege, hogy minden iterációs lépés során a hangyakolónia számának megfelelő megoldási verzió, un. hangya (azt adja meg, hogy mely szállítási feladatok milyen sorrendben kerültek be a járatba, ez mekkora hasznot és úthosszt jelent) jön létre, melyek eredményei egy un. feromon mátrixban kerülnek rögzítésre. Ez azt mutatja meg, hogy mennyire kedvező, az egyes szállítási feladatok járatba vétele, és a szállítási feladatok felkeresési sorrendje. A feromon mátrix és egyéb heurisztikus információ (úthossz) felhasználásával kalkulálható a szállítási feladatok (újabb iterációs lépésben, és újabb hangyák esetén) kiválasztását segítő valószínűségi mátrix. Annak valószínűsége, hogy az r . szállítási feladatot (vagy a jármű telephelyét) az s . követi, az alábbi képlettel számítható:

$$p_{r,s} = \frac{\varphi_{r,s}^\alpha * \left(\frac{1}{d_{r,s}}\right)^\beta}{\sum_{t=1}^L \left[\varphi_{r,t}^\alpha * \left(\frac{1}{d_{r,t}}\right)^\beta \right]}$$

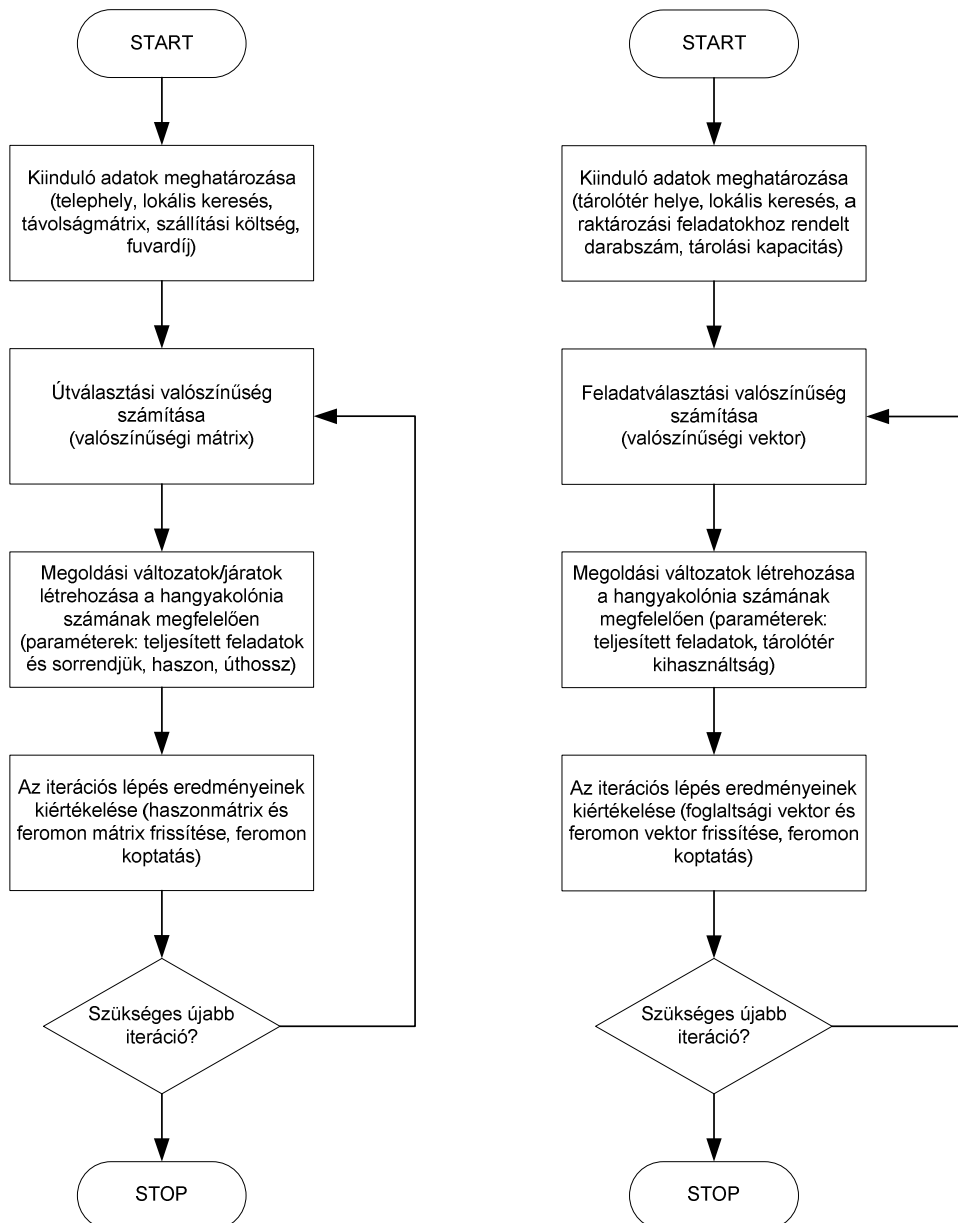
Ahol $\varphi_{r,s}$ az r -s szállítási feladatok viszonylatán lévő feromon mennyisége, $d_{r,s}$ az r -s szakasz úthossza, L az r . szállítási feladat után választható feladatok száma ($t=1\dots s\dots L$), α a feromon β pedig az úthossz fontosságát kifejező kitevő ($\alpha=2$, $\beta=1/3$). Az iterációs lépésekben a feromon mátrixot frissíteni kell, elsőként az adott iterációs lépésben elért eredmények figyelembe vételével (az 5/36-os szorzó a konzervatív és a felfedező keresés közötti egyensúlyt biztosítja; az iterációs lépések során elért legnagyobb haszon (H_{\max}) használata un. erős elitizmust eredményez; $H_{r,s}$ az r -s feladatok sorrendjével elért legnagyobb haszon):

$$\varphi_{r,s} = \varphi_{r,s} + \frac{5}{36} * \varphi_{r,s} * \frac{H_{r,s}}{H_{Max}}$$

Ezt követően feromon koptatást (feromon párolgási együttható $\rho=0,1$) kell végrehajtani (csak az adott iteráció során bejárt viszonylatokon; a feromonszint $0,5 \dots 2$ között lehet):

$$\varphi_{r,s} = \varphi_{r,s} * (1 - \rho)$$

A cél a legnagyobb haszon elérése, ez pedig a bemutatott módszer segítségével viszonylag rövid időn belül biztosítható (hamar ad kielégítően jó eredményt).

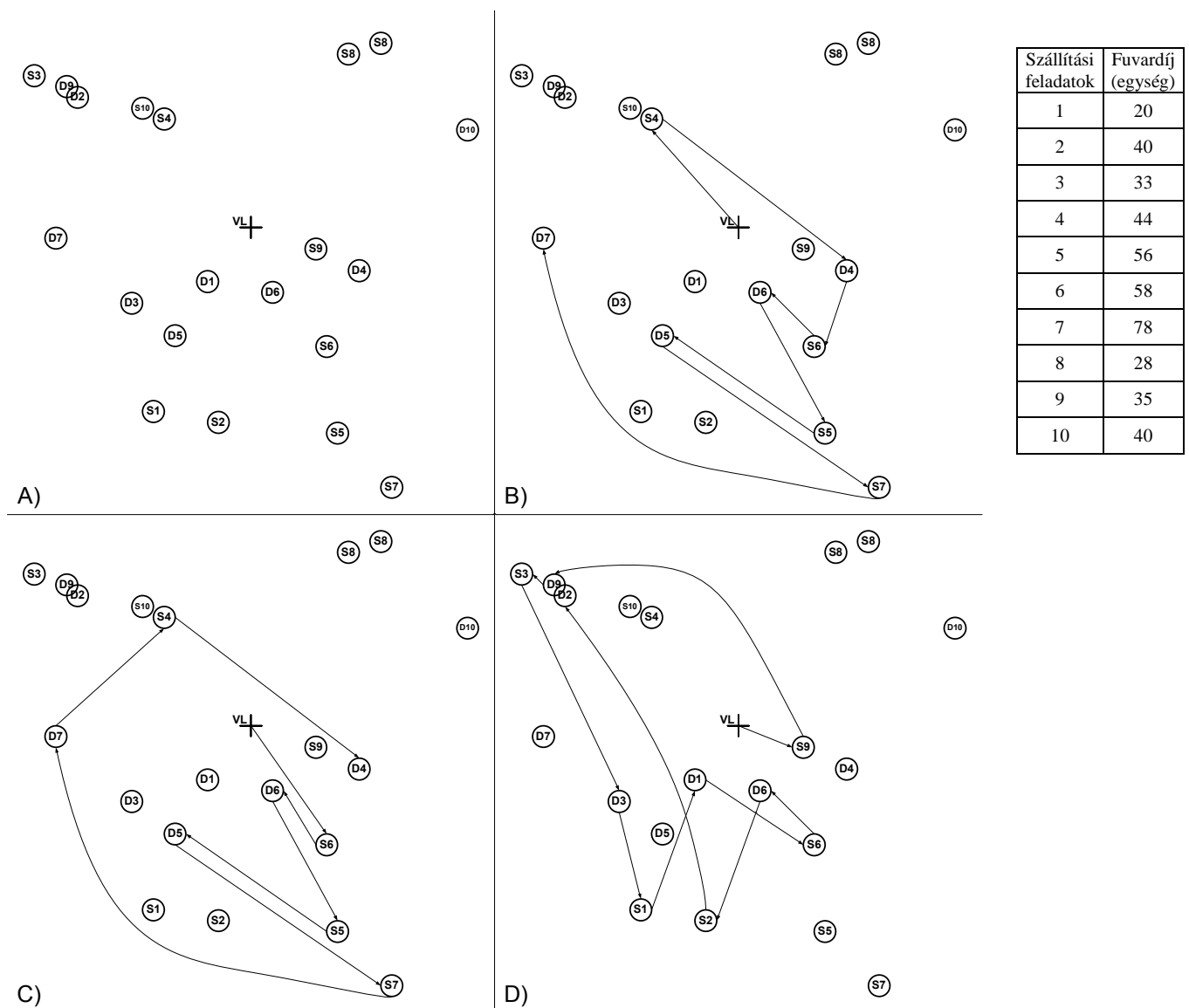


5. ábra: Az FB_ACO és RB_ACO folyamatábrája

Az 5. ábra jobb oldalán a raktárhelyek kihasználásának optimalizálását célzó hangyakolónia algoritmus látható (RB_ACO) (Kovács, 2011), az előzőekben leírt elvhez hasonló módon működik, annyi kivétellel,

hogy ez esetben a börzén megjelenő raktározási feladatok közül kell választani, a legnagyobb kapacitás kihasználtság elérését célul kitűzve. A kiválasztási valószínűség alapjául a keresésből származó információ (feromon), és a raktározási feladatokhoz rendelt tárolandó mennyiség, mint heurisztikus adat szolgál.

Az FB_ACO alkalmazására mutat be egy példát a 6. ábra A része (10 szállítási feladat, VL: jármű telephelye, S: a szállítási feladatok feladási helye, D: a szállítási feladatok rendeltetési helye, maximális úthossz 150 egység, FD: a szállítási feladatok teljesítésének ellenértéke).



6. ábra: Példa az FB_ACO alkalmazására, összevetve más módszerekkel

A 3. táblázatban a VBA nyelven lekódolt FB_ACO által adott eredmények láthatók (6/B), összevetve az egyszerű profitmaximáló (6/C) és távolságminimalizáló (6/D) módszerekkel. A példa alapján és általánosságban is (20 féle kiinduló adatbázis, 90 futtatás és 26 000 verzió alapján) elmondható, hogy az

FB_ACO mindig jobb eredményt adott (átlagosan 43%-al, a szórás 41%) mint azok a közelítő módszerek, melyek csupán egy paraméteren alapulnak. Az elvileg szükséges verziók 3...5 százalékanak megfelelő hangya (megoldási verzió) létrehozása esetén már nem történt nagy javulás az elért eredményen. Az FB_ACO ezen felül meglehetősen stabilnak bizonyult.

Eredmények	Módszerek		
	FB_ACO	Haszon maximalizálása	Távolság minimalizálása
Szállítási feladatok és sorrendjük	4 → 6 → 5 → 7	6 → 5 → 7 → 4	9 → 3 → 1 → 6 → 2
Távolság (egység)	145	153	148
Haszon (egység)	90,9	83,4	37,7
Haszon/távolság aránya	0,63	0,55	0,25

3. táblázat: Az FB_ACO eredményeinek összehasonlítása más módszerekkel

Fontos megemlíteni, hogy mivel az FB_ACO és az RB_ACO is egy-egy metaheurisztikus eljárás, ezért nem garantálják az optimális megoldást. A módszerek által adott eredmény megbízhatóságának javítása céljából ezért a kutatás következő részében az algoritmusok további fejlesztése a cél, így például kombinálásuk az evolúciós elveken alapuló optimumkereséssel (*Bell és társai 2004, Tang és társai 2010*).

5. Alkalmazási lehetőségek

A köztudatban jelenleg csak a legegyszerűbb, legkézenfekvőbb alkalmazási irány ismert, amikor is a fuvar- és raktárbörzén szabad kapacitásokat és teljesítendő feladatokat (szállítási, raktározási) hirdetnek meg, ill. keresnek a felhasználók, összetettebb lehetőségek alig jelennek meg (*Duin és Kneyber 2003, Jonkman és társai 2005*). Ezen felül azonban számos felhasználási lehetőség nyílik (lásd a 7. ábrán), melyek mindegyike egy-egy ismert logisztikai feladatot/problémát támogat, ill. old meg (*Kovács 2010c*).

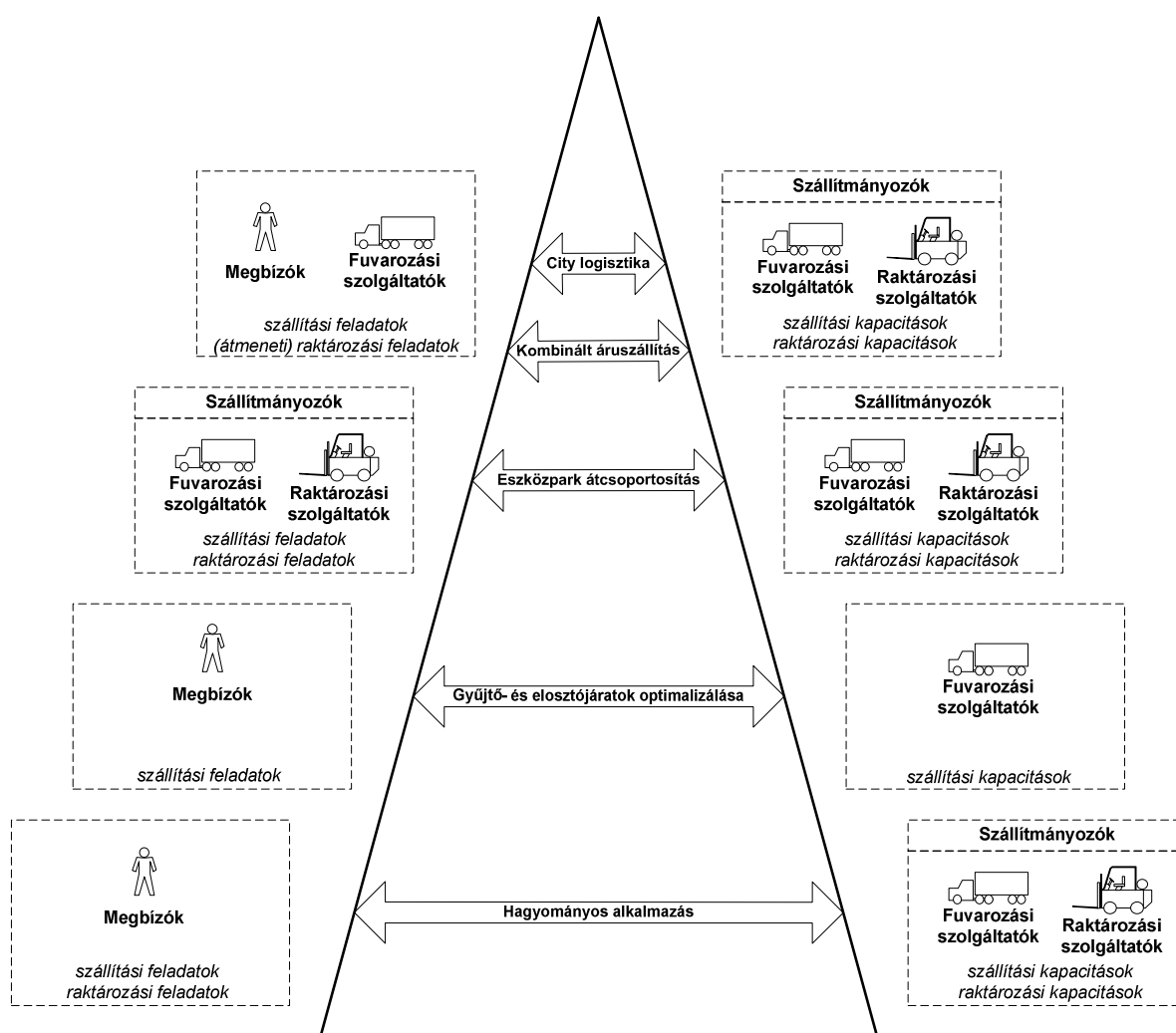
Mivel a fuvarbörzén nagyszámú ajánlat jelenik meg, így kézenfekvő, hogy ezeket alapul véve a szállítást végző a saját folyamatait megpróbálja hatékonyabbá tenni. Egyszerűbb esetben ez úgy valósulhat meg, hogy a fuvarbörzén megjeleníti a fix járatait (pl. gyűjtő/elosztó járat), így ő maga és a szállítási igénnyel rendelkezők is fel tudják mérni a járat újabb szállítási feladattal történő kiegészítésének lehetőségét. Bonyolultabb esetben a fuvarbörze a rendszerben lévő szállítási feladatokból egy, az előző fejezetben bemutatott optimum kereső algoritmus segítségével tud pl. gyűjtő/elosztó járatokat létrehozni.

Összetettebb felhasználási formaként megjelenik az eszközpark átcsoportosítás lehetősége. Ekkor a szabad szállítási és raktározási kapacitással rendelkezők hardver eszközeit tudják más szolgáltatók igénybe venni.

A kombinált áruszállítást oly módon támogatja, hogy egyrészt az egyes közlekedési eszközök közötti választást a fuvarbörze teszi lehetővé, másrészt pedig a különféle áruszállítási módok átrakóhelyein jelen

lévő átmeneti tároló helyek foglalása a raktárbörzén keresztül zajlik. Ez esetben megvalósulhat az eszközpark csere (átrakás egyik járműről a másikra), és a gyűjtő/elosztó szállítás szervezése is (pl. a közúti járművek gyűjtést és elosztást, a kötötpályás járművek pedig nagytávolságú szállítást végeznek).

Az egyik legösszetettebb alkalmazás a city logisztika támogatása (Kovács 2009c, Kovács 2010a). Ekkor beszélhetünk egyszerűbb tervezésről, amely esetén a gyűjtő/elosztó járatok szervezésével csökkenthető a tényleges, városokba irányuló áruforgalom. Bonyolultabb alkalmazás esetén a városszéli átrakóhelyek közbeiktatásával (a raktárbörze felhasználásával) a beérkező járművekről más járműre (környezetbarát jármű, villamos, stb.) rakják át az árut (a szállítási kapacitásra foglalást a fuvarbörzén keresztül lehet tenni).



7. ábra: Az elektronikus fuvar- és raktárbörzék újszerű alkalmazási lehetőségei

Az öt kiemelt terület mellett még számos olyan áruszállítási/raktározási probléma megoldására lehetnek alkalmasak az elektronikus fuvar- és raktárbörzék, melyek részben a résztvevő felek közötti információs és kommunikációs hiányosságok, valamint a folyamatok nem megfelelő támogatottsága miatt okoznak problémát.

6. Összefoglalás

A kutatás során kialakított elektronikus fuvar- és raktárbörze messze túlmutat a jelenleg ismert, hasonló funkciókat betölteni kívánó börzéken. Elsőként került kialakításra egy komplett rendszermodell, amely kétféle logisztikai szolgáltatás (szállítás, raktározás) ajánlatkérési és ajánlatadási procedúráját a kornak megfelelő mértékben támogatja.

Az ajánlatkezelési módszerek igen sokszínűek, a legegyszerűbb katalógusos módszertől kiindulva, az igényeknek megfelelően automatikusan küldött ajánlatokon át egészen a tenderekig és aukciókig négyféle, a különböző felhasználóknak és ajánlatoknak megfelelő tranzakciós mód került integrálásra.

A fuvar- és raktárbörzéken a megfelelő ajánlatok kiválasztásánál döntési probléma merült fel, melynek támogatására a kifejlesztett, egzakt matematika algoritmusokon alapuló, az emberi szubjektivitást nagymértékben kizáró MDA módszer nyújt segítséget. Az MDA összetett ajánlatok több verzió alapján történő kiértékelését teszi lehetővé.

Felhasználva a börzén jelenlévő ajánlatok magas számát, a szállítási kapacitással rendelkezők számára a megtett járatok, míg a raktározási kapacitással rendelkezőknek a tárolási kapacitás kihasználásának optimalizálására nyújt lehetőséget a kifejlesztett kettő, metaheurisztikus hangyakolónia algoritmuson alapuló eljárás (FB_ACO, RB_ACO).

A felhasználás sokszínűségét tekintve bátran kijelenthető, hogy az ismertetett elektronikus fuvar- és raktárbörze az igénybevevők számára a jövőben nagy segítséget jelenthet a kapcsolattartás, az ajánlatkérés/adás, a folyamatok szervezése, színvonalas, hatékony és átlátható lebonyolítása során. A széleskörű adatbázis szintén ezt támasztja alá. Fontos megemlíteni, hogy ez által a börze üzemeltetője erős közvetítő szerephez is juthat, hiszen bizonyos szolgáltatásokat (pl. tendereztetés) átvállalhat.

A kutatás további célja az algoritmusok (főleg az FB_ACO) finomítása, valamint az alkalmazási lehetőségek (főleg kombinált áruszállítás) mélyebb feltárása.

Köszönetnyilvánítás

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az ÚMFT TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja.

Felhasznált irodalom

1. G. Kovács (2011). The ant colony algorithm supported optimum search in the electronic freight and warehouse exchanges. *Periodica Polytechnica*, megjelenés alatt
2. Jiafu Tang, Jun Zhang, Zhendong Pan (2010). A scatter search algorithm for solving vehicle routing problem with loading cost. *Expert Systems with Applications*, 37, pp. 4073.–4083.
3. G. Kovács (2010a). Possible methods of application of electronic freight and warehouse exchanges in solving the city logistics problems. *Periodica Polytechnica*, 38. évfolyam, 1 szám, 2010, pp. 25.-28.
4. Kovács G. (2010b). Az elektronikus fuvarbörzékben alkalmazható optimumkeresési eljárások, algoritmusok. *Logisztikai Évkönyv 2011*, megjelenés alatt
5. Kovács G. (2010c). Az elektronikus fuvar- és raktárbörzék új alkalmazási területei. *Logisztikai Innovációs Füzetek*, 2. szám, 2010, pp. 74.-78.
6. G. Kovács (2009a). The structure, modules, services and operational process of modern electronic freight and warehouse exchanges. *Periodica Polytechnica*, 37. évfolyam, 1-2 szám, 2009, pp. 33.-38.
7. G. Kovács, K. Bóna (2009b). Applying a multi-criteria decision methodology in the implementation of tenders for the acquisition of the infrastructure of logistics systems. *Periodica Polytechnica*, 37. évfolyam, 1-2 szám, 2009, pp. 39.-44.
8. Kovács G. (2009c). Az elektronikus fuvar- és raktárbörzék által nyújtott lehetőségek a city logisztikai problémák megoldásában. *Logisztikai Évkönyv 2010*, pp. 130.-133.
9. Kovács G. (2009d). Az elektronikus fuvar- és raktárbörzék tenderein alkalmazható multikritériumos döntésszűrő algoritmus (MDA) kiegészítő moduljai: érzékenységvizsgálat, csoportos döntéshozatal. *Közlekedéstudományi Szemle*, 59. évf., 3. szám, 2009. június, pp. 30.-36.
10. G. Kovács, K. Bóna, L. Duma (2008a). Methodology and managerial lessons of tendering logistics hardware. *Acta Technica Jaurinesis Series Logistica*. Vol. 1., No. 2., November 2008., pp. 237.-246.
11. Kovács G. (2008b). Elektronikus fuvar- és raktárbörzék, mint korszerű logisztikai eszközök. *Logisztikai Évkönyv 2007-08*, pp. 211.-215.
12. Kovács G. (2008c). A tendereztetés lehetőségei a logisztikai rendszerek fejlesztésében. *Innováció és Fenntartható Felsőfokú Közlekedés Konferencia*, Budapest, 2008. szeptember 3-5.
13. Kovács G. (2008d). Az elektronikus fuvar- és raktárbörzék tenderei esetén alkalmazható multikritériumos döntésszűrő algoritmus. *Közlekedéstudományi Szemle*, 58. évf., 2. szám, 2008. szeptember, pp. 44.-51.
14. Kovács G., Bóna K. (2008e). Multikritériumos döntési módszertan alkalmazásának gyakorlati tapasztalatai raktár-logisztikai rendszerek infrastruktúrájának beszerzésére kiírt tenderek lebonyolításában. *Logisztikai Híradó*, 18. évf., 4. szám, 2008. augusztus, pp. 14.-18.
15. Rapcsák T. (2007). Többszemponútú döntési problémák. Elektronikus egyetemi oktatási segédanyag, MTA SZTAKI
16. Kovács G. (2006). Korszerű elektronikus fuvarbörze felépítése, szolgáltatásai és működési folyamata. *BME OMIKK LOGISZTIKA*, 11. évf., 6. szám, 2006. november-december, pp. 14.-26.
17. Peter Jonkman, Eiichi Taniguchi, Tadashi Yamada (2005). Evaluation of a freight auction in an urban transport network, *Recent advances in city logistics proceedings of the 4th International conference on city logistics*, Langkwai, Malaysia, 12-14 July, 2005, pp. 207.-220.
18. M. Dorigo, T. Stützle (2004). *Ant Colony Optimization*, MIT Press, ISBN 0-262-04219-3
19. John E. Bell, Patrick R. McMullen (2004). Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem, *Advanced Engineering Informatics*, 18, pp. 41.–48.

20. J.H.R. van Duin, J.C. Kneyber (2003). Towards a matching system for the auction of transport orders, *Logistics systems for sustainable cities proceedings of the 3rd International conference on city logistics*, Madeira, Portugal, 25-27 June, 2003, pp. 163.-177.
21. Winston, Wayne L. (2003). Operációkutatás I-II. Aula kiadó, Budapest.
22. Dorigo M, Gambardella L M (1997). Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Travelling Salesman Problem, 1997, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1, pp. 53–66.
23. Péter, T. (1997). Gépjármű lengőrendszerek felfüggesztés-paramétereinek optimalása. MTA, Kandidátusi értekezés
24. Saaty, T.L. (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process, *Interfaces*, 24, pp. 19-43
25. Saaty, T.L. (1990). The analytic hierarchy process, University of Pittsburgh