

Kutatási Jelentés

Téma azonosítója: JKL-P7-T2

Téma megnevezése: Elektronikus fuvar- és raktárbörzék alkalmazása a közlekedési csomópontok modalitási lehetőségeinek optimális kihasználása érdekében

3. munkaszakasz (lezárva: 2011.06.25.): A belső optimalizáló algoritmusok specifikálása, megalkotása

- 1.1.** Az elektronikus fuvar- és raktárbörzékben a kombinált áruszállítás szervezése során felmerülő optimumkeresési problémák (főleg járatszerkesztés) definiálása (célfüggvény, korlátozó feltételek).
- 1.2.** A kombinált áruszállítás lebonyolításához szükséges járatok (pl. vasútra gyűjtő, vasútról elosztó) optimális szervezését biztosító hangyakolónia algoritmus (ACO) specifikálása.
- 1.3.** Az ACO algoritmus kifejlesztése és tesztelése MS VBA környezetben.

Az összefoglalót készítette: Kovács Gábor, tanársegéd

BME Közlekedésmérnöki Kar, Közlekedésüzemi Tanszék

Témavezető: Dr. Bóna Krisztián PhD, adjunktus

BME Közlekedésmérnöki Kar, Közlekedésüzemi Tanszék

1.1. Az elektronikus fuvar- és raktárbörzéken a kombinált áruszállítás szervezése során felmerülő optimumkeresési probléma

Alaphelyzetben a szállítási feladatokat egyenként, egy-egy szabad kapacitás (pl. közúti jármű) hozzárendelésével teljesítik a jelenlegi fuvarbörzék. Ekkor 1 számú szállítási feladat vonatkozásában és 1 számú szállítójármű igénybevételével a (1.) képletben látható áruszállítási teljesítmény ébred a (2.) képletben látható összes futásteljesítmény mellett.

$$Q^H = \sum_{j=1}^l I_j d_{S_j D_j} \quad (1.)$$

$$F^H = \sum_{j=1}^l d_{S_j D_j} \quad (2.)$$

Q^H : hagyományos áruszállítás mellett ébredő szállítási teljesítmény (pl. t * km);

F^H : hagyományos áruszállítás mellett ébredő futásteljesítmény (pl. km);

$j = 1, 2, \dots, j, \dots, l$: szállítási feladatok;

I_j : az j . szállítási feladathoz tartozó árumennyiség (pl. tonna, egység rakomány);

$d_{S_j D_j}$: az j . szállítási feladat fel – és leadási állomásai közötti távolság (pl. km).

Ugyanezen 1 számú szállítási feladat kombinált módon történő teljesítése által az összes szállítási teljesítmény az esetek nagy részében növekszik, legkedvezőbb esetben a szállítási feladatok fel-és leadási pontjainak az átrakóközpontokkal való egybeesése esetén legfeljebb ugyanakkora lesz (3.), viszont az összes futásteljesítmény (4.) $l > 1$ esetén csökkenhet is, ami a későbbi optimumkeresés egyik fontos feltétele lesz.

$$Q^B = \sum_{j=1}^l I_j d_{S_j B_1} + \sum_{j=1}^l I_j d_{B_1 B_2} + \sum_{j=1}^l I_j d_{B_2 D_j} \quad (3.)$$

$$F^B = \sum_{j=1}^l d_{S_j B_1} + d_{B_1 B_2} + \sum_{j=1}^l d_{B_2 D_j} \quad (4.)$$

Q^B : kombinált áruszállítás mellett ébredő áruszállítási teljesítmény (pl. t * km);

F^B : kombinált áruszállítás mellett ébredő futásteljesítmény (pl. km);

$j = 1, 2, \dots, j, \dots, l$: a kombinált áruszállításba vont szállítási feladatok;

$d_{S_j B_1}$: az i . feladat feladási állomásának távolsága az átrakóközponttól (pl. km);

$d_{B_2D_j}$: az átrakóközpont távolsága a j. szállítási feladat célállomásától (pl. km);

$d_{B_1B_2}$: az átrakóközpontok távolsága (pl. km).

A célfüggvény az összes áruszállítási teljesítménynövekmény minimalizálása (5.), az ehhez tartozó összes futásteljesítmény csökkenés maximalizálása (6.) a kombinált szállítást biztosító jármű minél jobb kihasználása mellett (7.).

$$Q^{CF} = \frac{Q^B}{Q^H} = \text{MIN!} \quad (5.)$$

$$F^{CF} = \frac{F^H}{F^B} = \text{MAX!} \quad (6.)$$

$$K^{CF} = \sum_{j=1}^I I_j = \text{MAX!} \leq K \quad (7.)$$

Q^{CF}, F^{CF}, K^{CF} : az optimalizálás célfüggvényének összetevői;

K: a kombinált szállítást biztosító jármű kapacitása.

Az (5.) és (6.) képletekben látható célfüggvények közös jellemzője, hogy a kombinált áruszállítási átrakóközpontokhoz közeli fel- és leadási pontokkal rendelkező szállítási feladatokat részesítik előnyben. A futásteljesítmény csökkenés maximalizálása (6.) és a kombinált szállítást végző jármű minél jobb kihasználása (7.) viszont a minél több szállítási feladat bevonásának irányába hat, ami az összes szállítási teljesítményt növelheti. A három célfüggvény összevonásával egy haszonfüggvény képezhető (8.), amely a kombinált szállítással létrejövő felszabadult kapacitások számával arányos, az optimalizálás célfüggvénye így a H függvény minél magasabb értékének meghatározása (8.), (9.), vagyis olyan szállítási feladatok kombinált úton történő teljesítése, amelyek ezt lehetővé teszik.

$$H = K^{CF} \frac{F^{CF}}{Q^{CF}} = \text{MAX!} \quad (8.)$$

$$H = \frac{\left(\sum_{j=1}^I I_j\right) * \left(\sum_{j=1}^I I_j d_{S_j D_j}\right) * \left(\sum_{j=1}^I d_{S_j D_j}\right)}{\left(\sum_{j=1}^I I_j d_{S_j B_1} + \sum_{j=1}^I I_j d_{B_1 B_2} + \sum_{j=1}^I I_j d_{B_2 D_j}\right) * \left(\sum_{j=1}^I d_{S_j B_1} + d_{B_1 B_2} + \sum_{j=1}^I d_{B_2 D_j}\right)} \quad (9.)$$

A (9.) képletben látható célfüggvény és az általa definiált optimumkeresési feladat egy metaheurisztikus optimum kereső algoritmus, a hangyakolónia algoritmus segítségével kerül megoldásra.

1.2. A kombinált áruszállítás lebonyolításához szükséges járatok szervezését segítő hangyakolónia algoritmus (ACO) specifikálása

Az Ant Colony optimalizáló algoritmus egy, Marco Dorigo által kifejlesztett, a hangyák szociális viselkedésének modellezésén alapuló metaheurisztikus módszer. A hangyák a természetben először véletlenszerűen keresnek élelemforrást, majd ha élelmet találnak, a bolyba visszatérve feromonnal jelölik meg az utat. Más hangyák az utakon lévő feromonjel alapján nagyobb valószínűséggel válasszák ki a megjelölt utat a véletlen vándorlás helyett. A rövidebb utak hamarabb bejárhatók, így ezeken több, a hosszabbakon pedig kevesebb feromon lesz. Idővel az utakon lévő feromon mennyisége csökken (párolog), a lokális optimumnál való leragadást gátolva meg [1], [2], [3], [4].

A kombinált áruszállítás elektronikus fuvar- és raktárbörzékkel történő támogatása során a hangyák élelemkereséséhez hasonló probléma merül fel: a cél az átrakóközpontokra (kombinált áruszállítási csomópontokra) gyűjtés és onnan elosztás a (8.) és (9.) képletekben és az azokat megelőző bekezdésekben definiált optimumkeresési problémának megfelelően, melynek megoldási menetét az 1. ábra, ill. a soron következő néhány bekezdés szerint lehet végrehajtani (BA_ACO).

1) Kiinduló adatok meghatározása:

- az optimumkeresés kiindulópontja (kombinált áruszállítási csomópontok, szállítási feladatok, kombinált áruszállítást biztosító jármű);
- a keresési tér szűkítése (*lokális keresés*): az átrakóközpontokhoz és a kombinált áruszállítást biztosító jármű kapacitásához képest teljesíthető szállítási feladatok távolság és árumennyiség alapján történő kiválasztása;
- a szállítási feladatok egyedi szállítási feladatként, ill. kombinált módon történő továbbításához kapcsolódó távolság, áruszállítási teljesítmény és futásteljesítmény értékek számítása ((1.), (2.), (3.), (4.) képletek és azok elemei);
- *feromon vektor* előállítása (az egyes szállítási feladatok kombinált módon történő teljesítésének hatékonyságát jellemző szám, kezdetben csupa 1-es értékeket tartalmaz);
- *haszonvektor* (az egyes szállítási feladatok kombinált áruszállításba történő bevonása mekkora haszonnal jár) kinullázása.

2) Feladatválasztási valószínűség számítása:

- Annak valószínűsége, hogy a j-edik szállítási feladatot kombinált módon teljesítjük:

$$p_j = \frac{\varphi_j^\alpha * \left(\frac{1}{l_j}\right)^\beta}{\sum_{j=1}^L \left[\varphi_j^\alpha * \left(\frac{1}{l_j}\right)^\beta \right]} \quad (10.)$$

φ_j : a j. szállítási feladathoz tartozó feromon mennyisége;

l_j : a j. szállítási feladathoz tartozó elszállítandó árumennyiség (pl. t);

L: a választható szállítási feladatok száma ($j = 1 \dots L$);

α : a keresésből származó információk fontosságát kifejező kitevő ($\alpha = 2$);

β : heurisztikus információ (mennyiség) fontosságát kifejező kitevő ($\beta = 1/3$);

- α és β paraméterek értékei a szakirodalmi források ([1], [2], [3], [4]) és az algoritmus próbafuttatásai során kerültek kialakításra. Céljuk a magasabb feromon értékek nagymértékű előnyben részesítése, valamint a nagyobb távolság értékek kiválasztási valószínűségének kisebb mértékű csökkentése, ezt fejezik ki a kitevők értékei is;
- a fenti valószínűségekből képezhető egy vektor, amely a szállítási feladatok kombinált áruszállításba vonásának valószínűségét mutatja (*valószínűségi vektor*).

3) Megoldási változatok létrehozása:

- véletlen számok generálása, majd szállítási feladatok kiválasztása a valószínűségi vektor alapján, a korlátozó feltétel (a kombinált áruszállítást biztosító jármű kapacitása) teljesüléséig;
- a járat fő paramétereinek (szállítási feladatok, kihasználtság, áruszállítási teljesítmény, futásteljesítmény) meghatározása;
- a fenti lépések végrehajtása a hangyakolónia számának megfelelően (pl. 10 hangya=10 verzió).

4) Az iterációs lépés eredményeinek kiértékelése:

- haszonvektor feltöltése: az iterációs lépésben elért legnagyobb járatszintű haszon beírása az egyes szállítási feladatokhoz a (9.) képlet alapján. Ebben a vektorban csak azon helyeken lesz érték, melyeket a hangyák közül legalább egy érintett, több hangya esetén a lépés során elért legnagyobb haszon kerül beírásra;
- az iterációs lépések során elért maximális haszon (H_{max}) frissítése, amennyiben sikerült javulást elérni;
- a *feromon vektor frissítése* (az 5/36-os szorzó a *konzervatív* és a *felfedező keresés* közötti egyensúlyt biztosítja; H_{max} használata un. *erős elitizmust* eredményez):

$$\varphi_j = \varphi_j + \frac{5}{36} * \varphi_j * \frac{H_j}{H_{Max}} \quad (11.)$$

H_j : a j. szállítási feladat kombinált módon történő teljesítésével elért haszon (pl. t);

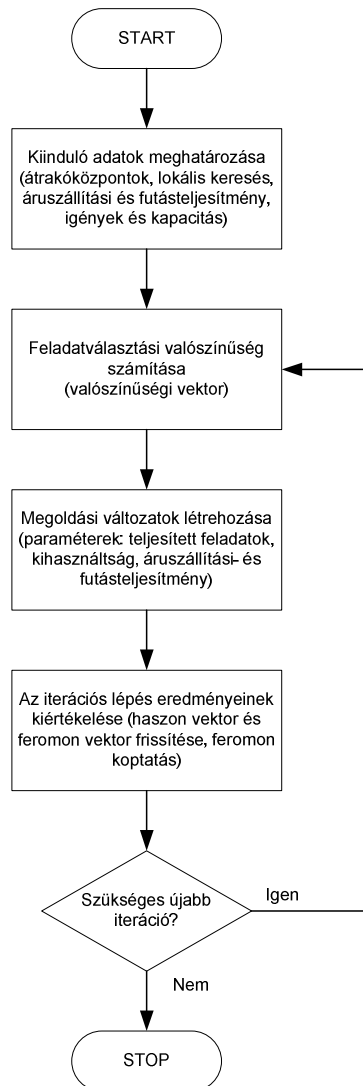
H_{Max} : az iterációs lépések során elért legnagyobb haszon (pl. t).

- *feromon koptatás* (csak az adott iteráció során bejárt viszonylatokon kell feromon frissítést végrehajtani):

$$\varphi_j = \varphi_j * (1 - \rho) \quad (12.)$$

ρ : feromon párolgási együttható ($\rho = 0,1$).

- 5) Újabb iterációs lépés végrehajtása (2, 3, 4 lépések) mindaddig, amíg további lényeges javulás (H_{max}) már nem elérhető, vagy bizonyos lépésszám után.



1. ábra: A kombinált áruszállítás elektronikus fuvarbörzék segítségével történő szervezését támogató hangyakolónia algoritmus (BA_ACO)

1.3. Az ACO algoritmus kifejlesztése és tesztelése MS VBA környezetben.

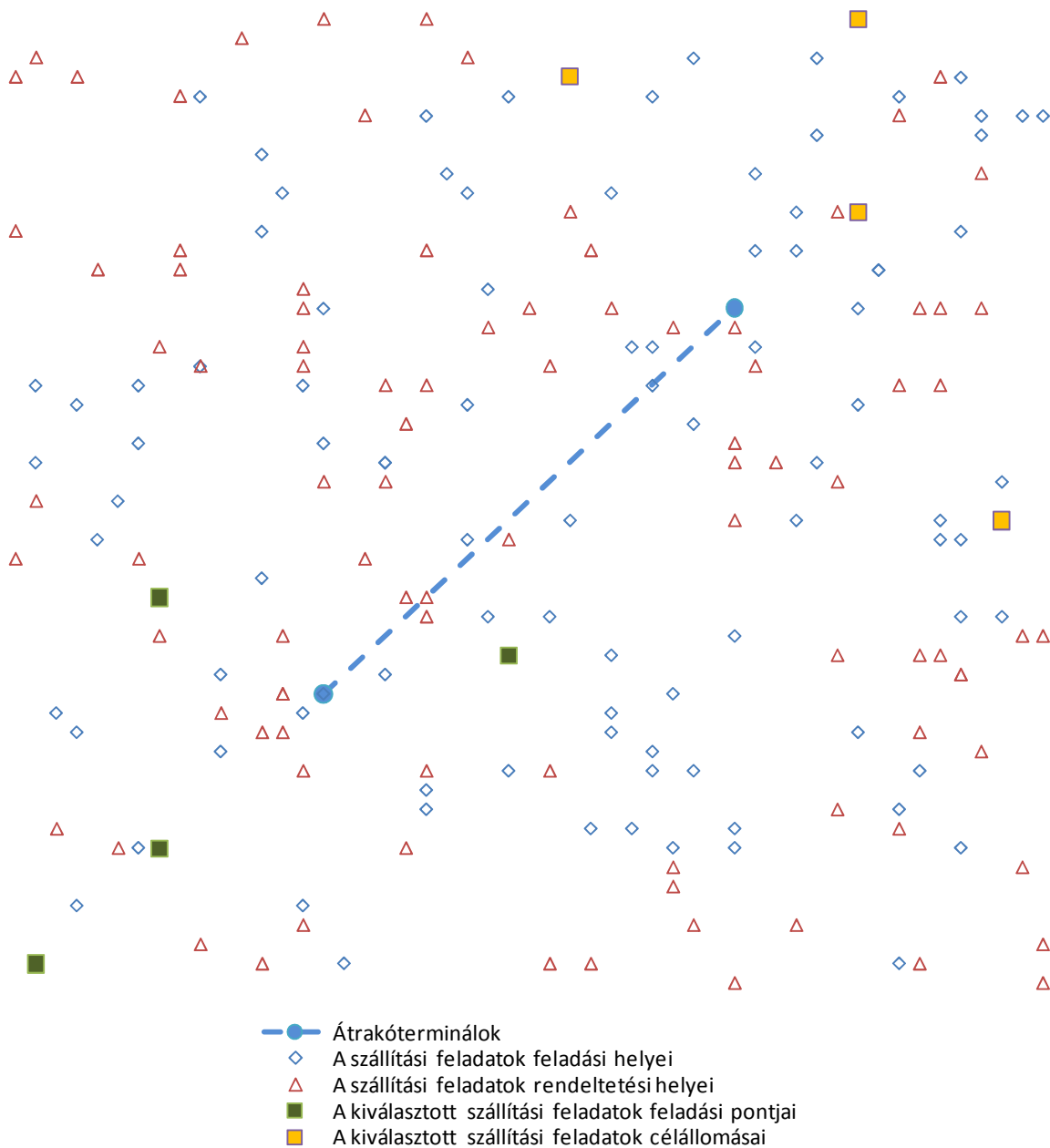
Az előző pontokban bemutatott algoritmus MS VBA környezetben készült el. A tesztelés az alábbi paraméterek alapján került végrehajtásra:

- szállítási feladatok száma: 99 (99 feladási és 99 rendeltetési pont),
- a szállítási feladatokhoz rendelt árumennyiség: 1 vagy 2 közepes nagyságú konténer,
- a kombinált áruszállítást biztosító eszköz kapacitása: 5 közepes nagyságú konténer,
- a kombinált áruszállítási csomópontok, a szállítási feladatok fel- és leadási állomásai, valamint a kombinált áruszállítást biztosító eszköz (vasúti pálya, folyó) nyomvonala (lásd. a 2. ábrán),
- a fentiekből számítható az áruszállítási- és futásteljesítmény,
- futtatások száma: 22,
- futtatásonként 50 iteráció,
- iterációnként 10 megoldási verzió (hangya) létrehozása.

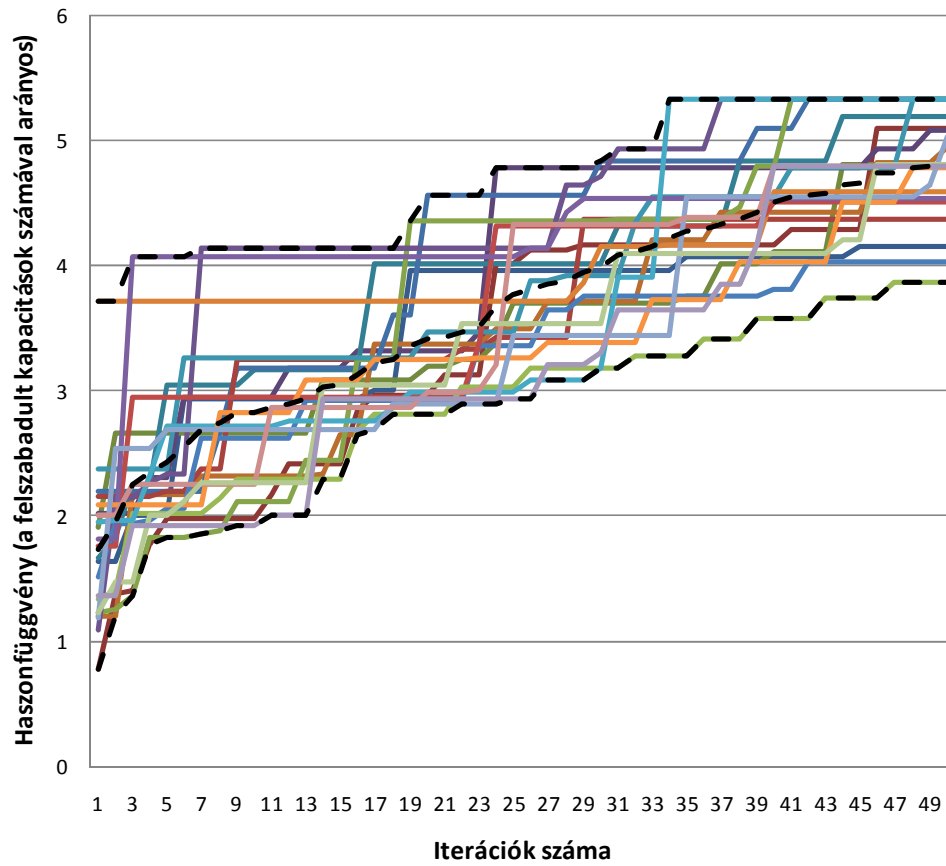
A megoldás a 2. ábrán látható: a kombinált szállításba 4 szállítási feladat lett bevonva, 100%-os kapacitáskihasználtság mellett. A rész-célfüggvények értékeinek ismeretében a legjobb megoldást alapul véve ($Q^{CF}=1,259$, $F^{CF}=1,3404$, $K^{CF}=5$) számítható a célfüggvénynek leginkább megfelelő haszon érték ($H=5,323$). Ez a megoldás látható a 2. ábrán, mely alapján levonható az a következtetés, hogy az algoritmus a kombinált áruszállítási csomópontokhoz közeli fel- és leadási pontokat keresi, azok közül is a legjobb kapacitás-kihasználtságot eredményezőket. A célfüggvény tárgyalása során támasztott kritériumokat a BA_ACO algoritmus tehát teljesíti.

A 3. ábra a 22 futtatásban kapott 22 darab haszonfüggvény egyes iterációk során elért változásait mutatja. Az egyes futtatásokat jelképező függvények között iterációk szintjén számított szórásnégyzetek átlaga 0,5056. A használt paraméterek mellett 22 futtatásból 5 adta ki a fent közölt legjobb célfüggvény értéket, viszont az 50-edik iteráció során kapott haszonfüggvény értékek 22 futtatásra vonatkoztatott átlagos szórásnégyzete (0,4375) az előző szórásértéknél 13,47%-al alacsonyabb volt, vagyis a kezdeti véletlen keresés és nagyobb ingadozások után az algoritmus által adott független futtatásokból származó eredmények közti távolság egyre csökken. Megfigyelhető az is, hogy a 3. ábrán látható függvények egy szűkítő szalag (szaggatott fekete vonal) által határolt területen mozognak, miközben átlagértékük (középső fekete vonal) a szalag aljáról a teteje felé tart.

Amennyiben nem 10, hanem ennél nagyobb számú hangyát alkalmaznánk (pl. 20, 30, 40), az egyes futtatásokban kapott haszonfüggvény értékek közti szórás csökkenne, vagyis kisebb lenne a szaggatott fekete vonallal határolt terület (szalag). Továbbá, magasabb hangyszám esetén az iterációk számával ez a szalag gyorsabban szűkül. Bizonyos hangyszám felett viszont már nincs érezhető javulás az algoritmus sebességének tekintetében, vagyis az ilyen jellegű feladatok többek között megkívánják az optimális hangyszám megválasztását is.



2. ábra: Példa a kombinált áruszállítás elektronikus fuvarbörzék segítségével történő szervezését támogató hangyakolónia algoritmus (BA_ACO) alkalmazására



3. ábra: A haszonfüggvények alakulása a BA_ACO futtatásai során

A kutatás egy későbbi munkaszakaszában kerülnek vizsgálatra a kombinált áruszállítás specifikus, a haszonfüggvény értékét meghatározott mértékben befolyásolható tényezők (pl. többlet átrakási teljesítmények, rakodási idők stb.).

A munkaszakaszhoz kapcsolódó publikációk:

Kovács G.: Az elektronikus fuvarbörzékben alkalmazható optimumkeresési eljárások, algoritmusok. Logisztikai Évkönyv (ISSN 1218-3849), Magyar Logisztikai Egyesület (MLE), Budapest, 2011, p. 28-35.

Kovács G.: Az elektronikus fuvar- és raktárbörzék lehetséges jövőbeli szerepköre a kombinált áruszállítás támogatásában. Közlekedéstudományi Szemle (ISSN: 0023-4362), 2011, 61. évf. 2. sz., p. 31-38.

Kovács G.: Korszerű elektronikus fuvar- és raktárbörze kifejlesztése. Logisztika a felsőfokú képzésben és a PhD felkészítésben III. Magyar Tudományos Akadémia IX. Gazdaság- és Jogtudományok Osztálya, Budapest. A szerkesztő által hivatalos közlésre elfogadott, várható megjelenés: 2011. május

Kovács G.: The ant colony algorithm supported optimum search in the electronic freight and warehouse exchanges. Periodica Polytechnica Transportation Engineering (ISSN 0303-7800, online: ISSN 1587-3811). Lektorált és a főszerkesztő által hivatalos közlésre elfogadott, várható megjelenés: 2012

Felhasznált irodalom

- [1] Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G.: Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems. Oxford University Press, ISBN 0-19-513159-2, 1999.
- [2] Dorigo, M.: Optimization, Learning and Natural Algorithms. PhD thesis, Politecnico di Milano, Italy, 1992.
- [3] Dorigo, M., Gambardella, L. M.: Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Travelling Salesman Problem. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 1, pp. 53–66., 1997.
- [4] Dorigo, M., Stützle T.: Ant Colony Optimization. MIT Press, ISBN 0-262-04219-3, 2004.