Bányai Tamás

ELLÁTÁSI LÁNC VALÓS IDEJŰ OPTIMALIZÁLÁSA

ABSZTRAKT

Jelen kutatómunka célja egy olyan, az ellátási láncok valós idejű optimalizálását és analízisét támogató módszer kidolgozása, amely alkalmas az ellátási folyamatban lévő logisztikai erőforrások ütemezésére. Első lépésként rövid áttekintés ad a szerző az ellátási láncokban használt IT megoldások fontosságáról a termékazonosítástól egészen a geoinformatikai rendszerek használatáig, különös tekintettel azok logisztikai szempontból kiemelendő hasznosságukat, illetve a valós idejű optimalizálásban rejlő potenciális lehetőségeiket. A dolgozatban bemutatásra kerül egy olyan, főként a nemzetközi szállítmányozásban használható modell, illetve annak matematikai leírása, amely nem csupán rendszerspecifikációt tartalmazza, hanem magába foglalja a az értékelés és optimalizálás paramétereit a költségalapú célfüggvények és korlátozások révén. A modell optimalizálására egy heurisztikus algoritmus kerül bemutatásra. A dolgozatban bemutatott eredmények rámutatnak arra, hogy a módszer alkalmazásával egyrészt növelhető az ellátási láncban működő logisztikai erőforrások kapacitáskihasználtsága, másrészt elvégezhető az ellátási lánc valós idejű, költségstruktúra elemzése. Ezek révén növekszik a teljes folyamat hatékonysága és javul az áttekinthetőség. A dolgozat záró részében a szerző jövőbeli kutatási irányokat fogalmaz meg, kiemelve a kidolgozott módszer vállalatirányítási rendszerbe történő integrálását.

BEVEZETÉS

A geoinformatikai rendszerek fejlődése nagymértékben hozzájárult az ellátási láncok fejlődéséhez. A geoinformatikai rendszerek sikeres alkalmazásának nem csupán a működés üzleti környezetének megismerése feltétele, hanem különösen nagy jelentőséggel bír a kapcsolódó alkalmazási területek folyamatos fejlesztése. Ez különösen igaz a gazdasági válságok idejében, amikor az ellátási láncok reengineering folyamatainak intenzifikálása különösen fontos terület. Ez vezetett el az ellátási láncok folyamatainak optimalizálása területén a kooperációs lehetőségek vizsgálatához. Az ellátási láncok intenzifikálása és reengineeringje a kutatások területén az optimalizálási problémákhoz pozícionálható.

Az ellátási láncok modellezésének feladata az anyagáramlási folyamatok kooperatív vagy versenyző partneri hálózatának leírása és algoritmikus optimalizálása költségalapú célfüggvények felhasználásával [17]. Az ellátási lánc egyes szereplőinek kooperációja történhet egy olyan elosztott

ellátási láncban, ahol nincs hierarchikus döntés és a partnerek alárendelik magukat a „közös cél” elérésének, ezért az ellátási láncok kutatásának igen aktuális területe az elosztott ellátási láncok optimális kialakítása, a decentralizált döntési stratégiák kidolgozása [7]. Az ellátási láncok hatékonysága nagymértékben függ a felső szintű döntésektől egy hierarchikus rendszerben, ez a felső szintű döntés azonban gyakran megérzésen, tapasztalaton alapszik. Ezen döntések azonban az ellátási láncok komplex volta miatt gyakran igen távol vannak az optimumtól [14]. A tapasztalatokon és megérzéseken alapuló rossz döntések elkerülése érdekében tudományosan indokolható az ellátási láncok működésének különböző célfüggvények figyelembevételével történő kialakítása és működtetése, valamint értékelése. A szakirodalomban számtalan olyan tervezési, optimalizálási és értékelési módszer található meg, mely hozzájárul az ellátási lánc menedzsment fejlesztéséhez, különösen a rendszerdinamika, operációkutatás, IT, logisztika, marketing, szervezés és stratégia területén [12]. Számos kutatási munka célja az ellátási láncok különböző célfüggvényeken alapuló optimalizálása, azonban csak kevés munka célja annak integrált kezelése az üzleti folyamatok egyes alrendszereivel [4]. A ”just-in-time” filozófia megjelenése forradalmi változásokat idézett elő a termelésben és a logisztikában. Az idő egyre nagyobb jelentőségre tesz szert és a „just-in-time” elven működő termelési és logisztikai rendszerek tervezése egyre nagyobb figyelmet kíván [1].

A geoinformatikai rendszerek szállítás és ellátás területén történő alkalmazását bemutató egyik alapmű több mint 15 évvel ezelőtt jelent meg [11]. A szerzők előre vetítették azt, hogy a geoinformatikai rendszerek alkalmazása a szállítási folyamatok tervezési folyamatának fejlődését fogja eredményezni. Ezen munkát követve számos tudományos munka látott napvilágot különböző aspektusból vizsgálva az ellátási láncok és a geoinformatikai rendszerek kapcsolatát. Ugyan az egyértelmű, hogy a geoinformatikai rendszerek különböző alkalmazásai számos területen, így a talajvíz bázisok feltárásában [18] vagy a bioenergiai potenciálok meghatározásában [2] vezetnek egyre korszerűbb rendszerek kialakulásához, azonban a leg-szélesebb alkalmazási terület az ellátási láncok támogatása, mely magába foglalja a beszerzési, termelési, elosztási és hulladékhasznosítási logisztika funkcionális területeit is. Érdekes területe ezen logisztikához kapcsolódó alkalmazásoknak a lakossági hulladékok gyűjtési rendszerében lévő utak geoinformatikai rendszeren alapuló 3 dimenziós útvonal modellezése [16], vagy regionális szállítási hálózatok révén működtetett recycling üzemekhez kapcsolódó folyamatok analízise [13].

A szerző ismeretei szerint nem létezik olyan hozzárendelési feladatok megoldását célzó kutatómunka, melynek célja geoinformatikai rendszerből származó információk alapján az ellátási lánc értékelése, illetve a szállítási feladatok valós idejű hozzárendelése a rendelkezésre álló szállítási erőforrásokhoz. Jelen kutatómunka legfőbb eredménye egy olyan hatékony módszer bemutatása, mely kooperatív ellátási lánc esetében növeli a logisztikai erőforrások kihasználtságát és lehetőséget ad a rendszer értékelésére. A modell alkalmas számos költségtényező figyelembevételére, így például az egyes szereplő szállítási költségeit és a nem teljesített szállítási igényekből eredő veszteségeket.

PROBLÉMALEÍRÁS

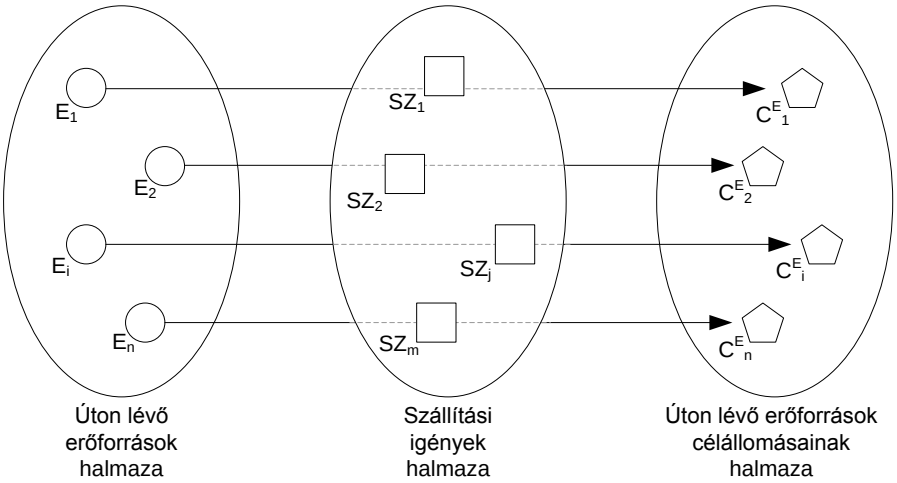
Az ellátási láncok magukba foglalják a fejlesztés, beszerzés, termelés, értékesítés, elosztás és recycling funkciókat. Ezen funkciók sikeres működtetésének feltétele hatékony IT megoldások vállalatirányítási rendszerbe integrált alkalmazása és algoritmikus támogatása [9]. Egy vevői megrendelés teljesítéséhez szükséges ellátási lánc számos részfolyamatot foglal magába azért, hogy nyersanyagokat, alkatrészeket, szerelt egységeket késztermékké alakítson át és juttasson el az értékesítőhöz, vagy közvetlenül a vevőhöz.

Jelen dolgozat célja ezen utolsó kiszállítási fázis optimális kialakítását támogató módszer bemutatása a költségek és az erőforrás kihasználtságok figyelembevételével. A közúti szállítójárművek átlagos kihasználtsága 70% alatti. Ezen kihasználtság növelése a profit növekedését eredményezheti. Ezen kihasználtság növekedés két módon végezhető el: (i) a szállítási feladatok ütemezése a szállítási erőforrások indulása előtt; (ii) a működő szállítási erőforrások és a jelentkező szállítási igények valós idejű összerendelésével. A geoinformatikai rendszerek lehetőséget adnak a valós idejű összerendelés megvalósítására.

A valós idejű optimalizálási feladat célja az, hogy a szabad szállítási kapacitással rendelkező erőforrásokat és a szállítási igényeket összerendelje az alábbiak figyelembevételével: (i) szabad szállítási kapacitás pillanatnyi pozíciója; (ii) a pillanatnyilag teljesítés alatt lévő szállítási feladat előírt teljesítési időpontja; (iii) a szabad szállítási feladat elvárt teljesítési időpontja; (iv) a bevétel nagyobb legyen, mint a többlet szállítás költsége.

MODELL LEÍRÁSA

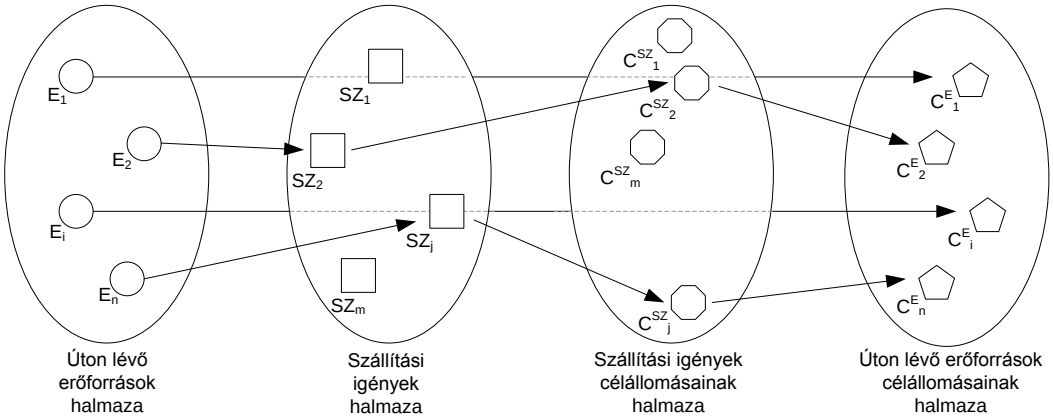
Egy valós idejű tervezési és optimalizálási lehetőséggel nem rendelkező ellátási láncot ábrázol az 1. ábra.



1. ábra Ellátási lánc valós idejű tervezési és optimalizálási lehetőség nélkül

Ezen esetben a szabad szállítási igények halmaza szabad szállítási kapacitásra vár. A szállítási kapacitások pillanatnyi pozíciójának ismerete nélkül nem lehetséges az erőforrások és az igények összerendelése. Az ábrán lévő i index a szállítási erőforrásokat és azok eredeti célállomását jelöli, míg j a szabad szállítási feladatokat s azok tervezett célállomását. ágak az egyes komponensek, amelyek a kapcsolódó komponensbe épülnek be.

Geoinformatikai rendszer alkalmazása esetén a valós idejű optimalizálás és értékelés lehetősége adott (2. ábra). A szállítási erőforrások pillanatnyi pozíciójának ismerete révén megoldható szabad, vagy részben szabad erőforrások szállítási igényekhez történő hozzárendelése.



2. ábra Ellátási lánc a valós idejű optimalizálás és tervezés lehetőségével

A következő jelöléseket használja a szerző:

- P_i^R : i-edik erőforrás pillanatnyi helyzete,
- P_j^{TD} : j-edik szállítási igény helyzete,
- D_i^R : i-edik erőforrás tervezett célállomása,
- D_j^{TD} : j-edik szállítási igény célállomása,
- AT_i^R : i-edik erőforrás legkésőbbi érkezési ideje a tervezett célállomásra,
- AT_j^{TD} : j-edik szállítási igény legkésőbbi érkezési ideje a célállomásra,
- CAT_i^R : i-edik erőforrás számított érkezési ideje a tervezett célállomásra,
- CAT_j^{TD} : j-edik szállítási feladat számított érkezési ideje a célállomásra,
- C_i^R : i-edik erőforrás szabad kapacitása,
- RC_j^{TD} : j-edik szállítási feladat által igényelt szállítási kapacitás,
- ST_i^R : i-edik erőforrás fajlagos szállítási költsége,
- SUT_i^R : i-edik erőforrás fajlagos szállítási költsége a bruttó tömeg függvényében,
- I_j^{TD} : bevétel a j-edik szállítási igény teljesítése esetén,
- α : nem-linearitási együttható a bruttó tömegtől függő fajlagos szállítási költségnek.

A probléma megoldását egy hozzárendelési mátrixban lehetséges reprezentálni:

- $A_{i,j}$: erőforrások és szállítási igények összerendelése, ha $A_{i,j} = 1$, akkor az i-edik erőforrás a j-edik szállítási igényhez van rendelve, egyébként 0.

A modell a következő feltételezésekkel él: (i) az erőforrások kooperatívak, (ii) kapacitás-korlátok figyelembe vannak véve, (iii) a szállítási költség nem lineáris, (iv) a vezetői paraméterek nincsenek figyelembe véve.

Az optimalizálás költségfüggvénye a bevétel és a költség különbségének maximalizálása. Az optimalizálás során hat korlátozást kell figyelembe venni (1. táblázat).

Korlátozás	Korlátozás jelentése
(1) $RC_j^{TD} \geq C_i^R \rightarrow \forall i, j \text{ if } A_{i,j} = 1$	Biztosítja, hogy az erőforrás szabad kapacitása nem kisebb, mint amennyi a szállítási igény teljesítéséhez szükséges.
(2) $CAT_i^R \leq AT_i^R \rightarrow \forall i$	Biztosítja, hogy a szállítási erőforrás számított érkezési ideje nincs később, mint az eredetileg megadott legkésőbbi lehetséges érkezési idő (késés elkerülése).
(3) $CAT_j^{TD} \leq CAT_j^{TD} \rightarrow \forall j$	Biztosítja, hogy a szállítási igény számított érkezési ideje nincs később, mint a legkésőbbi lehetséges érkezési idő (késés elkerülése).
(4) $\sum_{i=1}^{n} A_{i,j} \in \{0,1\} \rightarrow \forall j$	Egy szállítási igény csak egy szállítási erőforráshoz rendelhető..
(5) $\sum_{j=1}^{m} A_{i,j} \in \{0,1\} \rightarrow \forall i$	Egy szállítási erőforrás csak egy szállítási igényhez rendelhető.
(6) $A_{i,j} \in \{0,1\} \rightarrow \forall i, j$	A döntési (hozzárendelési) mátrix bináris.

1. táblázat Korlátozások és azok jelentése

A számított érkezési idő a módosított szállítási útvonal alapján meghatározható, mely viszont a szállítási erőforrás és a szállítási igény pillanatnyi pozíciójának függvénye:

$$CAT_j^{TD} = CAT_j^{TD}\left(P_i^R, P_j^{TD}, D_j^{TD}\right) \text{ and } CAT_i^R = CAT_j^{TD}\left(P_i^R, P_j^{TD}, D_j^{TD}, D_i^R\right). \quad (7)$$

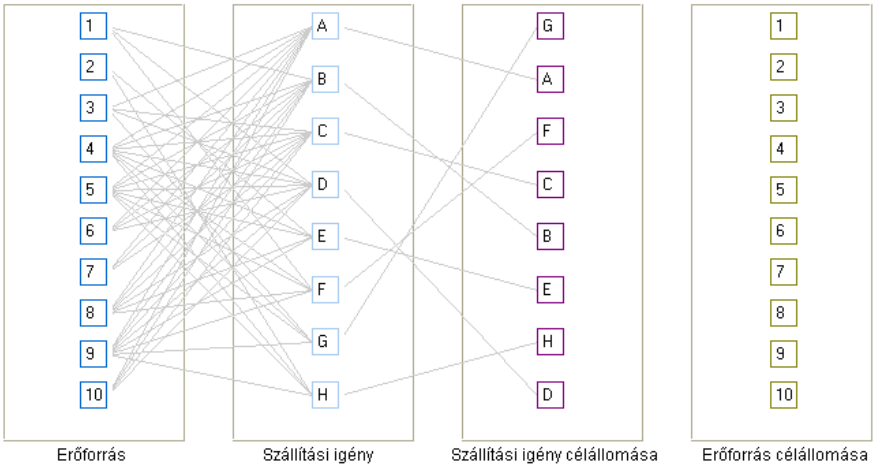
ALKALMAZOTT ALGORITMUS

Ezen multidimenzionális optimalizálási probléma megoldása genetikus algoritmussal történik. Evolúciós stratégiákkal először Rechenberg oldott meg komplex műszaki problémákat. [15]. Ezen munkát követően számtalan kutatási munka látott napvilágot bemutatván a genetikus algoritmus különböző tudományterületeken történő alkalmazhatóságának lehetőségeit az akusztikai problémáktól

[3] egészen a szakértői rendszerek optimalizálásáig. [8]. Általánosságban az előzőekben vázolt hozzárendelési probléma megoldási algoritmusa 5 lépésben foglalható össze: (i) lehetséges összerendelések megadás a szállítási igények és szállítási erőforrások között; (ii) hozzárendelések generálása a genetikus algoritmus kiinduló populációjához; (iii) genetikus algoritmus végrehajtása a megszakítási feltétel figyelembevételével; (iv) az algoritmus legutolsó populációjából a legjobb egyed kiválasztása; (v) a legjobb összerendelési halmaz értékelése.

A szállítási erőforrások és szállítási igények közötti lehetséges összerendelések (3. ábra) az (1-3) korlátozások figyelembevételével választhatóak ki:

$$A_{i,j}^{possible} = 1 \rightarrow \forall i, j \text{ if } RC_j^{TD} \geq C_i^R \text{ and } CAT_i^R \leq AT_i^R . \tag{8}$$



3. ábra Lehetséges összerendelés (példa 10 erőforrás és 8 igény esetén)

A kiinduló összerendelés a (4-5) korlátozások figyelembevételével végezhető el. Az algoritmus következő lépése a genetikus algoritmus alkalmazása hagyományos genetikus operátorokkal: kiválasztás, keresztezés, mutáció. A kiválasztás operátor feladatat az, hogy a populációs legerősebb, legnagyobb jóságú egyedeit átvigye a következő generációba. A kiválasztás operátort nem célszerű túl nagymértékben használni, hiszen az idővel a populáció nagymértékű homogenitásához vezethet [6]. A keresztezés operátor feladata az, hogy tetszőleges számú szülő (az általános gyakorlatban kettő) egyed tulajdonságainak kombinálásával új egyed(ek)et állítson elő. A keresztezés operátor lényege az, hogy a szülő egyedek jó tulajdonságainak összeadása (keresztezése) révén a szülőkénél nagyobb jóságú utód egyedeket állítson elő. Több pontos keresztezés operátor alkalmazása számos problémát vet fel a (4-5) korlátozás kapcsán, ezért a hagyományos egypontos operátor alkalmazása javasolt [10], hiszen kombinálja a szülő egyedek tulajdonságait. (c_i=utód, p_i=szülő):

$$c_i^1 = p_i^1 \rightarrow i \leq cp \text{ vagy } cp < i \text{ és } p_i^2 \neq c_j^1 \rightarrow j = 1 \ldots i-1, \tag{9}$$

$$c_i^1 = p_i^2 \rightarrow cp < i \text{ és } p_i^2 \neq c_j^1 \rightarrow j = 1 \ldots i-1, \tag{10}$$

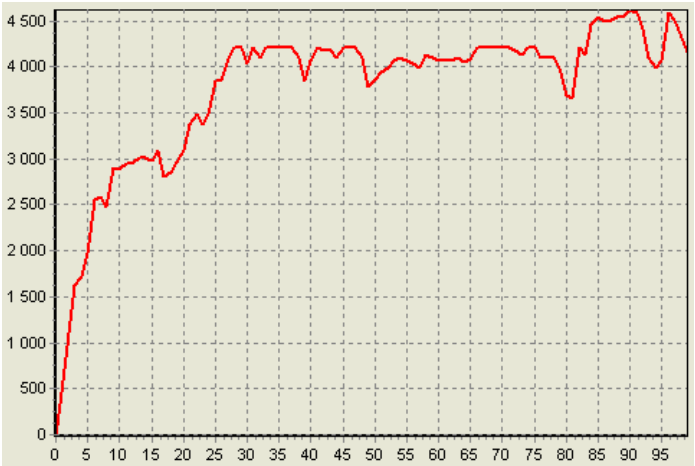
$$c_i^2 = p_i^2 \rightarrow i \leq cp \text{ vagy } cp < i \text{ és } p_i^1 \neq c_j^2 \rightarrow j = 1 \ldots i-1, \tag{11}$$

$$c_i^2 = p_i^1 \rightarrow cp < i \text{ és } p_i^1 \neq c_j^2 \rightarrow j = 1 \ldots i-1. \tag{12}$$

A mutációs operátor az egyed véletlenszerűen kiválasztott elemét változtatja meg: (i) ha a kiválasztott gén nem reprezentál összerendelést, akkor a gén a továbbiakban egy lehetséges összerendelést fog jelölni; (ii) ha a kiválasztott gén összerendelést reprezentál, akkor a továbbiakban értéke 0 lesz:

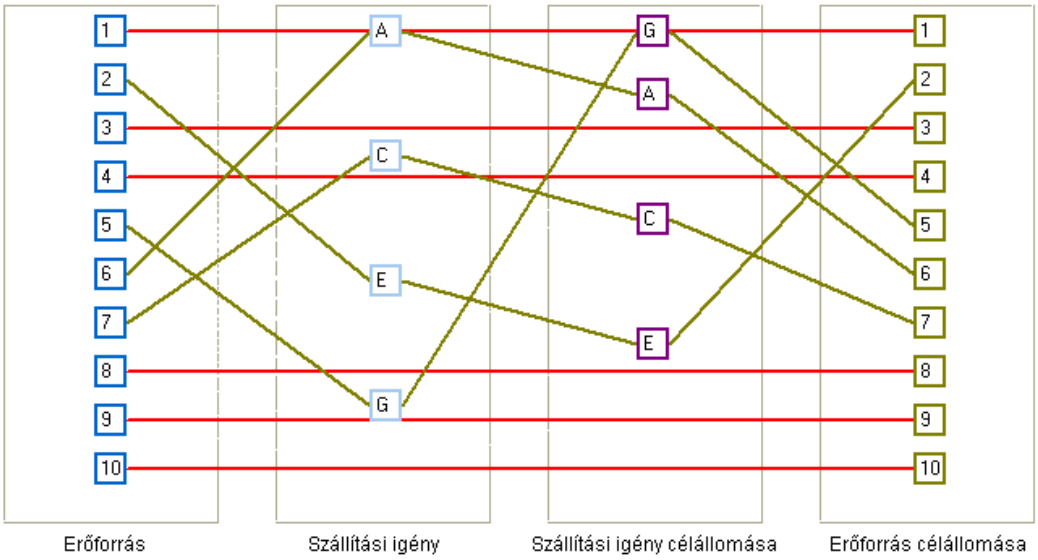
$$\begin{aligned} &\text{ha } A_{i,j} \in A_{i,j}^{possible} \rightarrow A_{i,j} = 0, \\ &\text{ha } A_{i,j} = 0 \rightarrow A_{i,j} = A_{i,j}^{possible}. \end{aligned} \tag{13}$$

Az algoritmus akkor áll meg, ha a paraméterként beállított számítási ciklus eltelt. Ezen megszakítási feltétel más feltételekkel (például a populáció egyedeinek átlagos homogenitása) való kombinálása csökkentheti a számítási időszükségletet (4. ábra).



4. ábra Populáció átlagos jósága

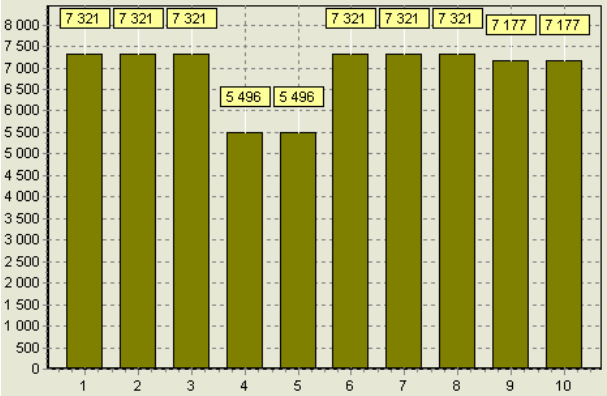
Az alkalmazott populáció mérete és a szükséges számítási lépések száma nagymértékben függ a probléma méretétől. A megszakítási feltétel után a kidolgozott szoftver megjeleníti az optimális összerendelést. (5. ábra).



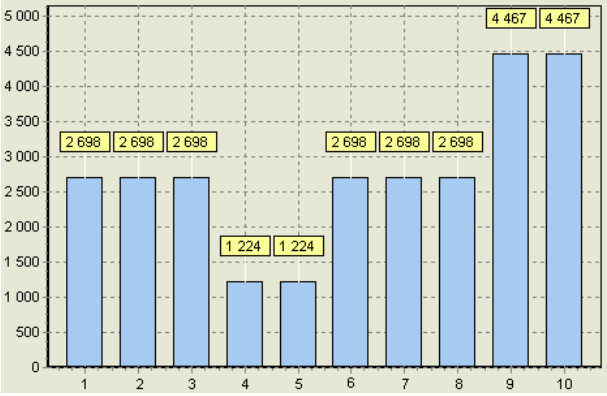
5. ábra Optimális összerendelés (példa 10 erőforrás és 8 igény esetén)

EREDMÉNYEK

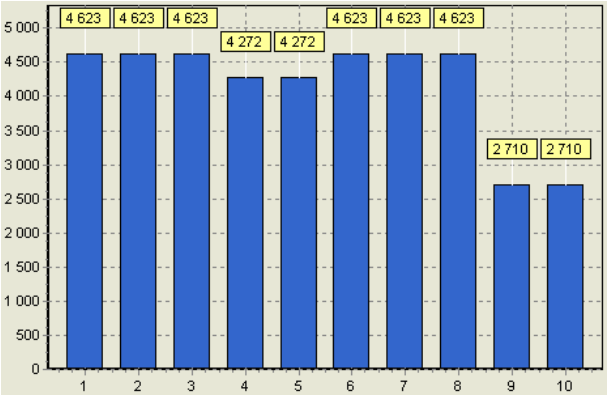
A fentiekben bemutatott algoritmus alapján elkészített szoftver segítségével lehetőség van különböző megoldási változatok értékelésére a szállítási költség, a bevétel, a profit, az erőforrás kihasználtság és a szállítási utak vonatkozásában (6-9 ábrák).



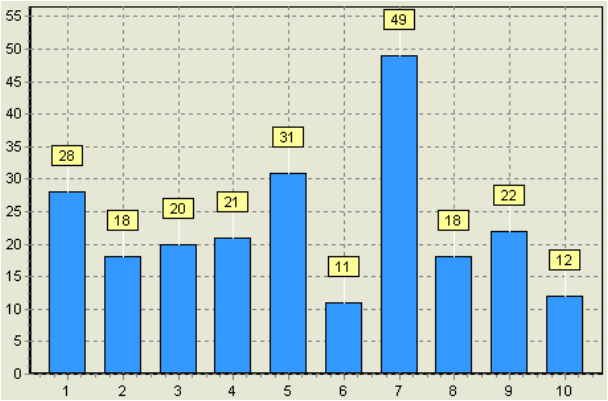
6. ábra Egyedek által reprezentált megoldásokból származó bevétel



7. ábra Egyedek által reprezentált megoldások többlet szállítási költségei



8. ábra Egyedek által reprezentált megoldásokból származó nyereség



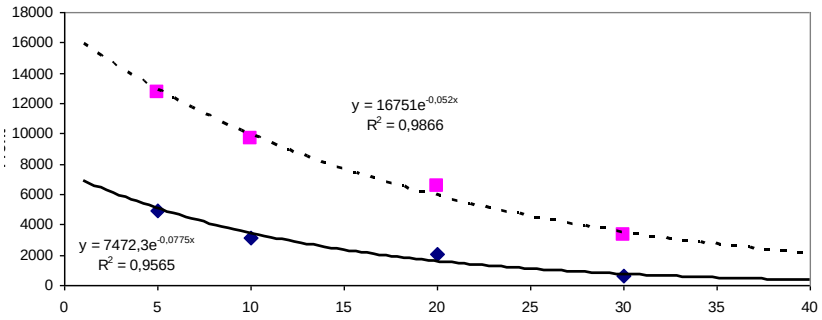
9. ábra Szállítási erőforrások kihasználtsága

A geoinformatikai rendszerből kinyert adatok alapján elvégzett valós idejű összerendelés segítségével lehetséges a szállítási erőforrások kihasználtságának növelése és többletbevétel elérése.

Fajlagos szállítási költség	**Profit**	**Fajlagos szállítási költség**	**Profit**
Bevétel=1000		**Bevétel=2000**	
5	4888	5	12701
10	3153	10	9684
20	2071	20	6532
30	633	30	3338

2. táblázat Optimalizálási eredmények összehasonlítása

A különböző rendszerváltozatokon lefuttatott eredmények feldolgozása alapján kijelenthető, hogy a többlet nyereség számos paraméter függvénye. Amennyiben az ellátási láncban „alacsony fajlagos szállítási költség és magas bevétel” definiálható, akkor a többlet nyereség könnyen realizálható. Az „alacsony” és „magas” szavak numerikus hátterét a 2. táblázat adatai szemléltetik. Az r-négyzet értéke a fajlagos szállítási költség-nyereség függvény esetében közel 1 (10. ábra) ami azt jelenti, hogy az ábrában bemutatott regressziós görbe igen jól illeszkedik a diszkrét pontokra.



10. ábra A nyereség-fajlagos szállítási költség kapcsolatának regressziója

ÖSSZEFOGLALÁS

Az IT eszközök és IT megoldások ellátási láncokban történő alkalmazása nagymértékben növeli azok hatékonyságát. A geoinformatikai rendszerek alkalmazása kiváló lehetőséget teremt az ellátási láncok valós idejű ütemezésére és összerendelésére a folyamatok műszaki és gazdasági kihasználtságának növelése céljából. A dolgozat keretében bemutatott modell alkalmazásával elvégezhető a nyereség maximalizálása számos logisztikai korlátozás és peremfeltétel figyelembevétele mellett.

TOVÁBBI KUTATÁSI IRÁNYOK

Jelen modellben a szállítási erőforrások és a szállítási igények többszörös összerendelési lehetősége figyelmen kívül lett hagyva. Ugyan ez a modell jól közelíti a valóságot, azonban annak a vizsgálata, hogy a többszörös összerendelés hogyan növeli az elérhető profitot még érdekes területe a kutatás fejlesztésének. A fentiekben bemutatott módszer vállalatirányítási rendszerbe történő integrálása nagymértékben javíthatja a hatékonyságot.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen kutatás-fejlesztési munkát a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal Pázmány Péter Programja támogatta.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] BÁNYAI, Á. & CSELÉNYI, J. (2003), Optimierungsmethode zur Planung von JIT-Zulieferersystemen. in: Magdeburger Schriften zur Logistik. Volume 13. pp. 17-26.

[2] BECCALI, M. et al. (2009), Assessment of bioenergy potential in Sicily: A GIS-based support methodology. Biomass and Bioenergy. Volume 33. Issue 1. pp. 79-87.

[3] CHIU, M. C. & CHANG, Y. C. (2008) Numerical studies on venting system with multi-chamber perforated mufflers by GA optimization. Applied Acoustics. Volume 69. Issue 11. pp. 1017-1037.

[4] CSELÉNYI , J. & BÁNYAI, Á., VERNYIK, A. (2003), Optimisation of an integrated supply and assembly schedule. in: Proceedings of the 12th International IPSERA Conference. Bu-dapest. pp. 549-556.

[5] GATTORNA, J. (Ed.) (1998), Strategic Supply Chain Alignment – Best Practice in Supply Chain Management. Gower.

[6] GEORGIEVA, A. & JORDANOV, I. (2009), Global optimization based on novel heuristics, low-discrepancy sequences and genetic algorithms. European Journal of Operational Research. Volume 196. Issue 2. pp. 413-422.

[7] GHIRARDI, M., MENGA G. & SACCO N. (2008), An optimisation-oriented model of distributed supply-chain. Mathematics and Computers in Simulation. Volume 79. Issue 4. pp. 937-946.

[8] HUANG, S. C. & WU, T. K. (2008), Integrating GA-based time-scale feature extractions with SVMs for stock index forecasting. Expert Systems with Applications. Volume 35. Issue 4. pp. 2080-2088.

[9] KNOLMAYER, G.F. et al. (2009), Supply Chain Management Based on SAP Systems - Architecture and Planning Processes. Springer.

[10] LEUNG Y. & WANG, Y (2001), An orthogonal genetic algorithm with quantization for global numerical optimization. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 5. pp. 41–53.

[11] NIEMEIER, D. A. & BEARDard, M. K. (1993), GIS and transportation planning: A case study. Computers, Environment and Urban Systems. Volume 17. Issue 1. pp. 31-43.

[12] OTTO, A. & KOTZAB, H. (2003), Does supply chain management really pay? Six perspectives to measure the performance of managing a supply chain. European Journal of Operational Research. Volume 144. Issue 2. pp. 306–320.

[13] ROBINSON Jr., G. R. & KAPO, K. E. (2004), A GIS analysis of suitability for construction aggregate recycling sites using regional transportation network and population density features. Resources, Conservation and Recycling. Volume 42. Issue 4. pp. 351-365.

[14] SARIMVEIS, H. et al. (2008), Dynamic modeling and control of supply chain systems: A review. Computers & Operations Research, Volume 35. Issue 11. pp. 3530-3561.
[15] SCHWEFEL, H.-P. (1981), Numerical optimization of computer models, New York - Wiley.
[16] TAVARES, G. et al. (2009), Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. Waste Management. Volume 29. Issue 3. pp. 1176-1185.
[17] TAYUR et al. (1999), Stochastic Programming Models for Managing Product Variety, Quantitative Models for Supply Chain Management. Kluwer Press. Boston.
[18] VANDERPOST C. & McFARLANE M. (2007), Groundwater investigation in semi-arid developing countries, using simple GIS tools to facilitate interdisciplinary decision making under poorly mapped conditions: The Boteti area of the Kalahari region in Botswana. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. Volume 9. Issue 4. pp. 343-359.