

# Az ellátási hálózati struktúra optimalálásának újszerű megoldásai és tanulságai multinacionális termelővállalatok esetében

Bóna Krisztián  
BME Közlekedésmérnöki Kar, Közlekedésüzemi Tanszék  
1111 Budapest, Bertalan L. u. 2. Z. ép. 604.  
Dr. Duma László  
BCE, Ebusiness Kutatóközpont  
1093 Budapest, Fővám tér 8.

ADVERSUM Tanácsadó és Szolgáltató Kft.  
1111 Budapest, Szent Gellért tér 3. II. em. 5.  
[krisztian.bona; laszlo.duma@adversum.hu](mailto:krisztian.bona; laszlo.duma@adversum.hu)

## Bevezetés

Az értékalkotási láncokban működő ellátási, elosztási hálózatok hatékonyságának elemzése és optimalása összetett műszaki-gazdasági probléma, amelyben az optimum számítás kritérium- és célfüggvény-rendszerének kialakítása meglehetősen nehéz feladat. Mindemelllett a kritériumokhoz illeszkedő optimális megoldás megkeresése sem triviális kérdés. A hálózati struktúra esetleges módosítására irányuló döntések a vállalatok életében hosszútávra szólnak és a hálózat működésével kapcsolatos jövőbeni költségeket alapvetően meghatározzák [4.], [8.], [10.]. Viszonylag régebb óta folynak olyan kutatások, amelyek célja olyan módszerek és eljárások kikísérletezése, amelyekkel ilyen kiélezett szituációkban megvalósítható a hatékony döntéstámogatás. Cikkünk egy olyan általunk nemrégiben kifejlesztett folyamatot ismertet, amelyet már több alkalommal sikeresen használtunk fel magyarországi multinacionális vállalatok hálózati struktúrájának átalakításakor.

## 1. A meglévő hálózat működési hatékonyságának elemzési módszerei

Cikkünk elején fontosnak véljük áttekinteni, hogy melyek azok az alapvető célok, amelyek tapasztalataink alapján a vállalati gyakorlatban motiválják az ilyen jellegű komplex vizsgálatokat:

- Elegendő-e a raktáraink száma (sok, avagy kevés)?
- Megfelelő-e a raktáraink térbeli elhelyezkedése? Ha nem, akkor hol létesítsünk raktár(ak)at?
- Centralizált, avagy decentralizált struktúrában ideális üzemeltetni a jelenlegi rendszert?
- Megfelelő-e a hálózat vertikális és horizontális felépítése?
- Mely folyamatokat szervezzünk ki, vagy vissza a vállalat hatásköréből, vagy hatáskörébe (out-, illetve insourcing kérdések)?
- Milyen mutatókkal mérjük a kiszervezett folyamatok tekintetében a szolgáltatási szerződések (SLA-k) teljesítését?
- Milyen logisztikai szolgáltatási színvonalat nyújtunk vevőinknek?
- Milyen áruszállítási módokat vegyünk igénybe? Milyen járműparkkal oldjuk meg a szállítási feladatokat?
- Mely vevőinket, illetve termékeinket preferáljuk, diszpreferáljuk?
- Megfelelő készletezési stratégiákat alkalmazunk?
- Egyéb itt fel nem sorolt speciálisan jelentkező kérdések (pl. termelőüzemek elhelyezkedése).

A fenti felsorolást látva kijelenthető, hogy a stratégiai kérdések mellett az operatív folyamatok szabályozása, finomhangolása esetén is célszerű lehet a komplex értékelés módszerét igénybe venni. Fontos továbbá megjegyezni, hogy bár cikkünk elsősorban a meglévő hálózatok problémáit vizsgálja, nemcsak meglévő, hanem újonnan létesítendő ellátási hálózatok esetében is hasonló jellegű problémák merülhetnek fel, csak kicsit másabb nézőpontból, más megközelítésben kell szemlélni a fenti kérdéseket.

## 1.1. A kiinduló adatok specifikációja

A fent felsorolt kérdésekkel összhangban a probléma kezelésére alkalmas döntési modell felépítéséhez *műszaki szempontból* számos alapvető kiinduló adatra van szükség. Ezek közül általában az alábbi hét témakörrel kapcsolatos adatsoportok összegyűjtése tapasztalatink alapján mindenképpen javasolt:

1. Az ellátási hálózat forrásait jelentő *termelő helyek*, üzemek logisztikai szempontból fontos alapvető műszaki, technológiai jellemzői, így...  
az üzemek térbeli elhelyezkedése, műszaki állapotával kapcsolatos adatok, a közlekedési kapcsolatok jellemzői, termelési kapacitások és kibocsátási jellemzők.
2. A jelenlegi ellátási hálózatban üzemelő (akár saját, akár szolgáltató által biztosított) *raktárak* logisztikai szempontból fontos alapvető műszaki, technológiai jellemzői, amelyek közül kiemelten fontosak...  
a raktárak térbeli elhelyezkedése, műszaki állapotával kapcsolatos adatok, a közlekedési kapcsolatok jellemzői, az árufogadás, betárolás, kommissiózás, árukiadás technológiája, továbbá az alapvető befogadó- és átbocsátóképességi jellemzők, a terület/épületek bővítési lehetőségei.
3. Az alkalmazott (akár saját, akár szolgáltató által biztosított) *áruszállítási rendszer* logisztikai szempontból fontos alapvető műszaki, technológiai jellemzői, vagyis...  
a szállító járművekkel kapcsolatos alapadatok, rakodástechnikai, áruszállítás-technológiai és befogadóképességi jellemzők, terhelhetőség, felszereltség, üzemeltetési jellemzők, valamint egyéb esetleges specialitások.
4. a *hálózati infrastruktúrával* kapcsolatos alapvető jellemzők, amelyek esetében össze kell gyűjteni...  
a különböző alkalmazott (és esetlegesen alkalmazható) áruszállítási módokkal kapcsolatos úthálózati, geográfiai jellemzőket különös tekintettel a kiszolgált területekre.
5. a mozzatott, szállított *termékekkel* kapcsolatos adatsoportok, amelynek vonatkozásában különösen fontosak...  
a termékek ún. logisztikai jellemzői, vagyis elsősorban azok fizikai paraméterei, különös tekintettel az alkalmazott csomagolási rendszer (gyűjtő egységek, szállítási egységek, egységakománny, esetlegesen az alkalmazott intermodális egység) adataira, továbbá a különböző árukezelési sajátosságokra.
6. Az ellátási hálózat nyelőit jelentő *ellátást igénylőkkel* kapcsolatos alapvető jellemzők, vagyis...  
az ellátást igénylők térbeli elhelyezkedése, az áruk fogadásának technikai, technológiai feltételrendszere, az ellátási folyamattal kapcsolatos esetleges specialitások (pl. van-e szállítási időablak rendszer).
7. az ellátási hálózat irányításában alkalmazott *informatikai megoldások* jellemzői, így...  
az alkalmazott ERP-k, vállalati információs rendszerek, azok kapcsolódási módozatai, adatsere megoldásai, az esetlegesen alkalmazott operatív irányítási rendszerek, megoldások (pl. járatszerkesztő rendszerek, SCM monitoring rendszerek, raktár-irányítási rendszerek, stb.) sajátosságai.

A felsorolt adatsoportokkal kapcsolatos jellemzők számszerűsíthető és nem számszerűsíthető adatok formájában jellemzik a meglévő hálózati struktúra alkalmazott megoldásait és közvetlen, vagy közvetett formában építhetők be a hálózat optimalizálás folyamatába, de a meglévő hálózat minősítése szempontjából mindenképpen elengedhetetlenek. A fentiek közül minősítés során számos olyan adattal dolgozhatunk, amelyek egy optimáló döntési modellbe nem, vagy csak meglehetősen nehezen építhetők be, de az optimumkereső modell által szolgáltatott eredmények értékelésekor egyfajta korrekció lehetőségével élve feltétlenül figyelembe vehetők, vagyis a tervezett hálózat optimális kialakítását még befolyásolhatják.

A *gazdasági vizsgálatok* bemeneti adatai, hasonlóan a műszaki optimum keresési feladatokhoz igen összetettek lehetnek. Az egzakt modellezéshez és az arra épülő értékeléshez a következő gazdasági jellegű kiinduló adatok szükségesek (a munka előkészítő szakaszában definiált vizsgálati időszakra vonatkozóan):

1. értékesítési / termelési / forgalmi adatok;
2. készletezéssel kapcsolatos gazdasági adatok;
3. szállítással kapcsolatos gazdasági adatok;
4. egyéb költségadatok.

Az előkészítő munka során kérdőívek, táblázatok és személyes interjúk, illetve egyedi kérdések formájában szerezhetők be az alapadatok. A fenti főbb költségcsoportok egy lehetséges részletezését illusztrációképpen az alábbi (1. sz.) táblázatban közöljük.

1. táblázat

Szállítási költségek	Telephelyi / raktározási költségek
Guruló költségek	Ingtalan bérleti díja
Üzemanyag költség	Telephelyi személyzet bére
Gumiabroncs költség	Anyagmozgató gépek költségei
Javítás, karbantartás	Telephely működtetésével kapcsolatos (rezsi) költségek
Javítási költség	Kommunikációs (telefon) költség
Gépkocsi amortizáció	Informatikai költségek
Gépkocsi személyzet bére	Adó jellegű költségek (iparüzési, kommunális adó, stb.)
Adó jellegű kiadások	Reklám költségek
Súlyadó, GFB, Casco	Lekötött tőke költsége
Vállalkozási üzemköltségek	

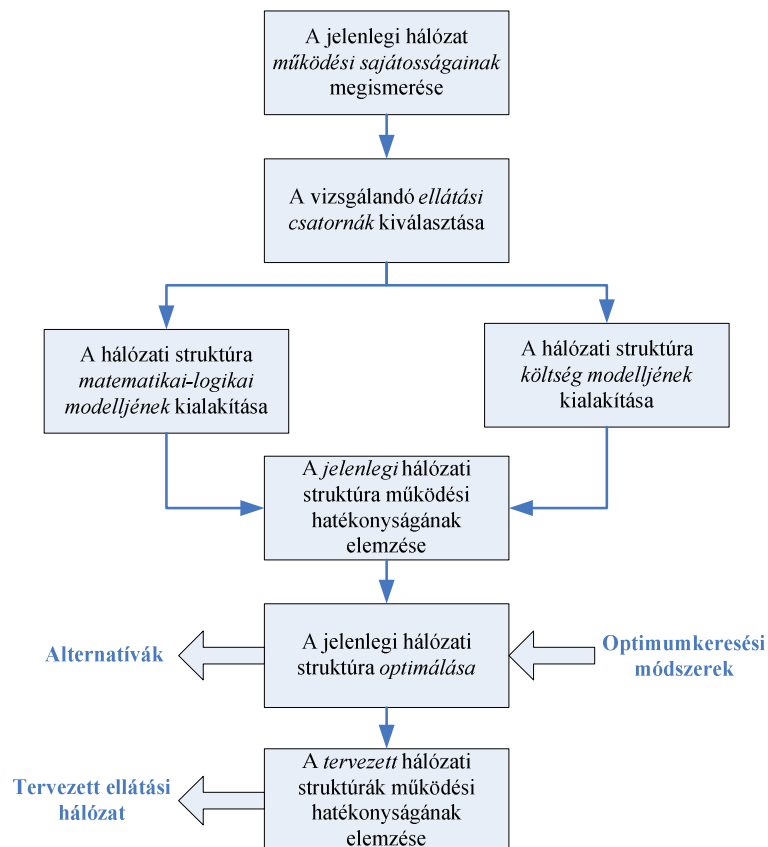
Az értékesítési és készletnyilvántartó rendszerből lehívott értékesítési és készletadatok szolgáltatják a forgalom és készlet elemzés bemenő adatait. Itt kell megjegyeznünk, hogy tapasztalataink szerint ezek az adatbázisok sok esetben számos hiányossággal küzdenek (pl. inkonzisztens adatok, mozgás-nemek hiánya, fölösleges redundanciák, hogy csak néhányat említsünk), ezért önálló szakmai feladat a további elemzésekre alkalmas kiinduló adatbázis létrehozása.

Ezen adatok szoros összefüggésben vannak a műszaki jellemzőkkel, egyes esetekben külön nem is vizsgálhatók. Szintén fontos külön hangsúlyozni, hogy az ilyen típusú vizsgálatoknál a logisztikai ráfordítások kalkulációjánál nem a számveteli (vagyis csak az elszámolható) szemlélet alapján nyilvántartott költségekkel célszerű dolgozni, hanem controlling típusú megközelítést érdemes alkalmazni, ahol a folyamatszemplélet, vagyis a különböző valós költségek költséghely szerinti azonosítása a meghatározó. Ebből kifolyólag gyakran az így megkapott értékeket a könyvelés által előállított mérleg- és eredménykimutatás-adatokkal közvetlenül összevetni nem lehet, azokkal körültekintő értelmezés és korrigáló tényezők alkalmazásával lehet csak együtt kezelni.

## 1.2. A modellezési és optimumkeresési folyamat

A kiinduló adatok specifikációja és összegyűjtése után a vizsgálat metodikájához illeszkedő modell felépítése következik, amelynek során a jelenlegi hálózati struktúra részletes megismerése után annak adottságaiból kiindulóan egy a jelenlegi helyzetet a lehető legjobban leképező ellátási hálózati modellt építünk fel. A vizsgálat mélységén, a hálózat adottságain, továbbá a modellezendő folyamat specialitásain múlik, hogy milyen összetettségű modellt kell létrehozni, milyen elhanyagolásokkal lehet élni. Tapasztalataink azt mutatják, hogy a különböző globális ellátási hálózatokban résztvevő termelő vállalatok az általuk működtetett hálózat tekintetében leginkább arra a kérdésre helyezik a hangsúlyt, hogy az általuk megtermelt késztermékek milyen úton jutnak el a végfelhasználókhoz. Tipikus példa erre az ún. FMCG szektor, ahol alapvető fontosságú a kialakított hálózat hatékonysága, hiszen rendkívül nagy a verseny, továbbá a hálózatban igen nagy a száma az olyan nagy- és kiskereskedelmi cégeknek, amelyek konkurens termelők termékeit is forgalmazzák. A modellezés tehát meglehetősen összetett feladat lehet, hiszen a különböző értékesítési módokhoz tartozó ellátási csatornák típusai meglehetősen sokfélék lehetnek. Tapasztalataink alapján tehát elmondható, hogy a különböző vállalatok iparági sajátosságaiból, különbözőségéből adódóan meglehetősen nehéz olyan modellrendszer kifejlesztése, amely minden esetre alkalmazható, ezért a hálózat modellezése minden esetben egyedi feladat, csak az alapelvek, a modellezés folyamata és az optimumkeresési módszerek rögzíthetők. Alapvető cél minden esetben az, hogy mind a jelenlegi helyzet minősítése, mind az optimum keresés egy összevont műszaki-gazdaságossági szempontrendszer alapján történjen, továbbá

az optimumkeresés során lehetőség nyílik minél több alternatíva vizsgálatára, majd ezek közül az optimális megoldás kiválasztására is. A modellezés folyamatát az alábbi (1. sz.) ábra mutatja be.



1. ábra: A hálózati struktúra működése modellezésének és optimalizálásának folyamata

A modellezési és optimumkeresési folyamat során rendkívül lényeges, hogy mind a jelenlegi, mind a tervezett a hálózati struktúrák minősítése azonos műszaki-gazdasági szempontrendszer és alkalmazott módszertan alapján történjen, hiszen így értékelhető, hogy mihez képest, és hogy mennyivel lehet jobb eredményt elérni a hálózat átalakítása által. Ezt a folyamatot minősítési eljárásnak nevezzük. A továbbiakban egy élelmiszeripari példán keresztül mutatjuk be az általunk alkalmazott hálózatoptimalizálási eljárást. Egy ilyen tipikus hálózat sematikus modelljét a következő oldalon látható (2. sz.) ábra mutatja be. Az ábrán látható, hogy egy olyan komplex hálózatot kell optimalni, amelyben adott „ $i = 1 \dots n$ ” számú (általában térben rögzített elhelyezkedésű – lásd lejjebb a kivételt) termelő üzem, továbbá adottak a vizsgált *ellátási csatornák* elemei, amelyek...

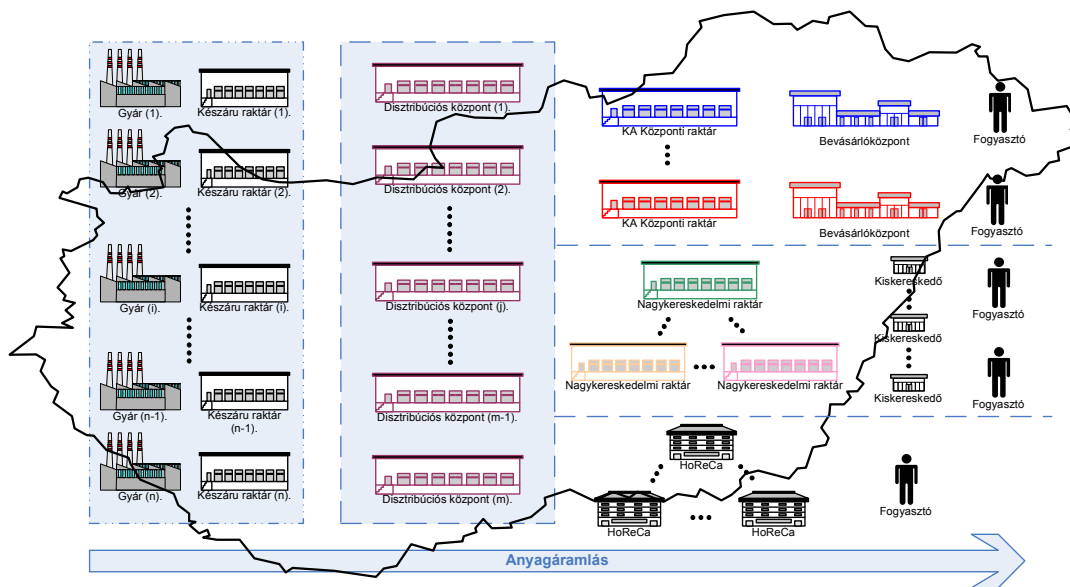
*key account-ok* (röviden KA-k pl. CORA, METRO stb.) esetében az adott rögzített elhelyezkedésű központi raktárak, valamint az ezekből kiszolgált szintén rögzített elhelyezkedésű bevásárló központok,

*nagykereskedelmi értékesítés* esetén az adott rögzített elhelyezkedésű nagykereskedelmi raktárak, valamint az ezek által kiszolgált szintén rögzített elhelyezkedésű kiskereskedelmi egységek, valamint

*HoReCa-k* (azaz a hotelek, restaurantok és kávézók) esetében az adott rögzített elhelyezkedésű értékesítési pontok.

A gyakorlat azt mutatja, hogy legtöbb esetben az *alapkérdés* a hálózat optimalítása során általában az ábrán szaggatott vonallal bekeretezett „ $j = 1 \dots m$ ” számú disztribúciós raktári hálózat felépítése (hány raktárt létesítsünk, hol és mekkora kapacitással), illetve eldöntendő, hogy ezeket saját üzemeltetésben, avagy logisztikai szolgáltató által optimális-e üzemeltetni. Tapasztalataink alapján több esetben azonban ez az alapkérdés kiegészülhet más *járatékos döntési problémákkal* is. Ezek lehetnek pl. az ábrán kétpont vonallal bekeretezett termelő hálózat felépítése (ha gyárat kell telepíteni, azt hová célszerű, milyen kapacitással stb.), vagy annak a dilemmája, hogy a meglévő ellátási csatornák

hálózati elemei közül egyáltalán melyeket használja fel a termékek fogyasztókhöz való eljuttatásában a tervezendő ellátási hálózat, de számos egyéb kapcsolódó döntési probléma is elképzelhető.



2. ábra: A vizsgált ellátási hálózat sematikus felépítése

A modellezett és optimalizálható hálózat tulajdonképpen egy olyan irányított gráfként képzelhető el, amelyben a csomópontok a hálózat elemei (pl. gyár, disztribúciós központ), az élek pedig a csomópontok között fennálló kapcsolatokat (pl. honnan-hová mely terméket szállítjuk el) jelentik. Minden egyes csomópontnak és élnek speciális tulajdonságai vannak. A tulajdonságokat a fenti kiinduló adatok elemzésével és rendszerzésével lehet értelmezni. Ezeket lehetőség szerint az optimumkeresés során a minél pontosabb eredmények elérése érdekében teljeskörűen célszerű figyelembe venni.

## 2. Egy korszerű ellátási hálózat optimalizálási módszer bemutatása

Fentiekből érzékelhető a modellezési és optimumkeresési feladat komplexitása. Olyan optimalizáló modell felépítése, amely a fentiekben felsorolt hálózati sajátosságokat leképező kiinduló adatok közül egy lépcsőben minden számszerűsíthető és nem számszerűsíthető, de valamilyen módon számszerűvé tehető tényezőt figyelembe vesz meglehetősen nehéz, ezért a matematikai-logikai és a költség modell kialakítása során egyszerűsítésekkel kell élni, illetve az optimumkeresési folyamatot célszerű több lépcsőben megvalósítani. Cikkünkben az egyszerűség kedvéért azt az esetet vizsgáljuk, amikor kizárólag az 1.2 alfejezet végén definiált *alapkérdésre* kell választ adni. Még ebben a viszonylag egyszerű esetben is meglehetősen összetett kérdés lehet a hálózati struktúra optimalitásának volta. Az ellátási hálózatok struktúrájának optimalizálásában az egyik jól bevált módszer a raktározási és a szállítási költségek minimumának keresése [4.], [8.], [10.]. Tapasztalataink szerint erről az útról letérni általában nem érdemes, illetve bizonyos összetettebb optimalizálási problémáknál érdemes lehet ezt az elvet kiegészíteni. A számítások során alapvetően abból célszerű kiindulni, hogy melyek azok a fizikai folyamatok, amelyek a logisztikai teljesítményeket realizálják a hálózaton. Ezeknek a szállítási és raktározási teljesítményeknek a hálózatra vetített becslést értékéből, illetve a fajlagos költségek számítása után az ezekből számított aggregált költségek segítségével kell az optimumkeresés célfüggvényét leképezni.

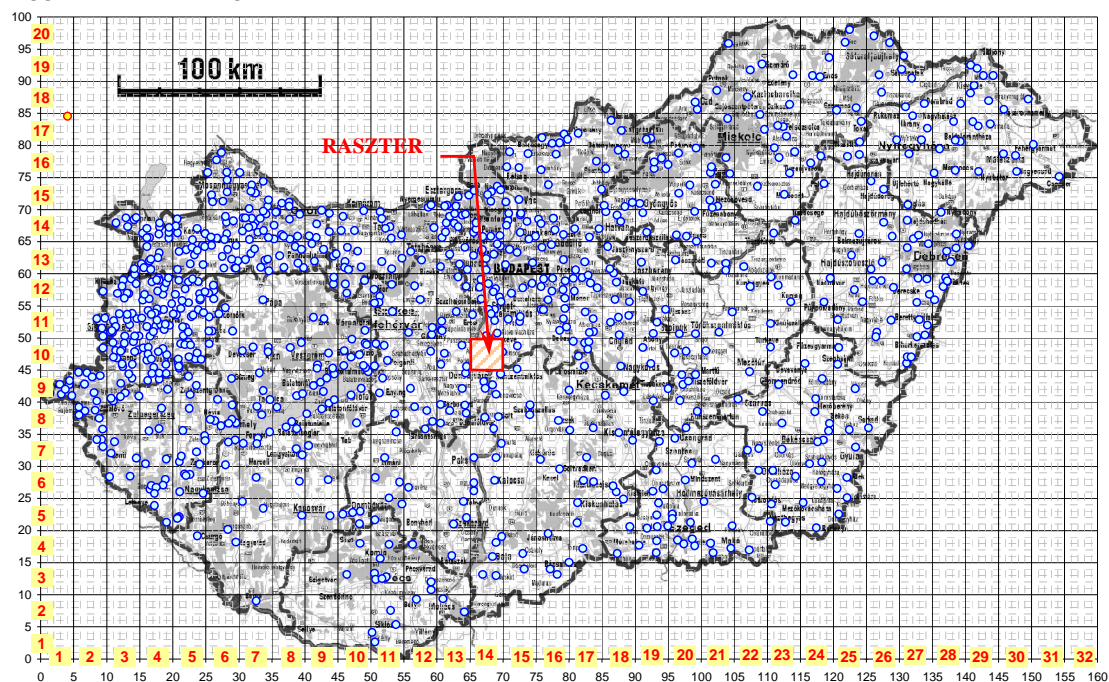
$$C_{\text{logisztikai}} = C_{\text{szállítási}} + C_{\text{raktározási}} \Rightarrow \text{MIN!}; \quad (1.)$$

### 2.1. A szállítási és raktározási teljesítmények becslése, a hálózati erőforrások optimalizálása több változatban

Az ellátási hálózatra vonatkozó logisztikai teljesítmények becsléséhez olyan függvényeket kell felírni, amelyekkel minél egyszerűbben közelíteni lehet a szállítási és a raktározási folyamatokhoz tartozó meghatározó logisztikai mérőszámokat. Ezeknek a számításoknak az alapját a már fentebb is definiált (sajnos sok esetben meglehetősen hiányos) kiinduló adatok szolgáltatják. A számítások kimenetei az

(1.)-ben definiált célfüggvény bementi paramétereiként értelmezendők, vagyis a hálózatra vonatkozó aggregált költségek ezek után egy viszonylag egyszerű behelyettesítés segítségével produkálhatók. A számítások előkészítéseként a vizsgált ellátási csatornára vonatkozóan a felhasználandó (jellemzően éves szinten aggregált) kiindulási adatokat településekre kell összegezni ( $t = 1 \dots x$ ), hiszen a modell az egyes hálózati elemeket nem különállóan kezeli, hanem egyszerűsítésképpen földrajzi geokódra aggregálja az általuk képviselt igényeket. Így pl. minden egyes településre (geokódra) vonatkozóan számítható egy „ $I_t$ ” összesített igény. Fontos kiinduló adat továbbá, hogy hány alternatívát kívánunk vizsgálni a hálózat optimalása során, illetve ezeknek milyen alapvető jellemzői vannak. Ezek közül a legfontosabb, hogy hány körzetbe ( $m$ ) kívánjuk sorolni az aggregált igényeket. A további előkészítő lépések a következők:

- A.) A *raszter-hálózat kialakítása a vizsgált terület (pl. Magyarország) geográfiai jellemzői alapján, amelynek célja a települések és az általuk leképzett igények további területi csoportosítása, a vizsgálat további egyszerűsítése. A raszterek száma ( $r = 1 \dots y$ ) és kialakítása nagymértékben függ a kiszolgált terület sajátosságaitól. Egy példát mutat be az alábbi (3. sz.) ábra, amelyen minden egyes települési igénypontot kék kör jelöl, egy adott raszterbe „ $t_r$ ” számú igénypont esik, a raszterre aggregált igényeket a továbbiakban pedig „ $I_r$ ” jelöli.*
- B.) A *kiindulási centrumterületek (raszterek) kijelölése, és a termelőüzemek elhelyezkedése által meghatározott raszterek rögzítése, amelynek célja a vizsgált alternatívától függő „ $m$ ” számú körzet-, vagy disztribúciós központot tartalmazó raszterek véletlenszerű (érzés szerinti), valamint a termelőüzemeket tartalmazó „ $n$ ” számú raszterek egyértelmű kijelölése.*
- C.) A *települések klaszterezése a kialakított raszter-hálózatsegítségével a kiindulási centrumterületek középpontja és a raszter-középpontok között mérhető légvonalbeli távolságok ( $s_{jr}$ ) minimalizálásával, amelynek célja a már raszterekre aggregált igények „ $I_r$ ” vizsgált alternatívától függő számú kiszolgálási körzetekbe sorolása.*



3. ábra: A raszterezés egy lehetséges megoldása

Az előkészületek után a hálózat optimalása két lépésben történik. Először egy iterációs eljárás segítségével ún. *centrumkeresést* [7.] kell végrehajtani az „ $m$ ” számú körzetre vonatkozóan, vagyis a véletlenszerűen felvett körzetbesorolásból kiindulva el kell dönteni, hogy mely településeket mely központi raktárakból fogunk kiszolgálni, illetve ezeknek a raktáraknak hol lesz a helye. Az iterációt egy *lokális kereséssel kombinált genetikus algoritmus* [6.] hajtja végre, amelyben a lokális keresést *Jándy-féle centrumnyomozással* [5.] oldottuk meg. Az iteráció során a centrumterületek helye, illetve az abban létesítendő disztribúciós központok kapacitása is folyamatosan változik az igények állandó

„átklasztereződése” miatt. Az iteráció végét (vagyis az optimumot) az jelenti, amikor ez a „mozgás” illetve „átrendeződési” folyamat leáll. Ennek mérésére speciális (a genetikus algoritmus tulajdonságaiból adódó) iterációs mérőszámok adnak lehetőséget. Az optimumkeresés célfüggvényét az ún. *disztribúciós szállítási teljesítmény* definíciója adja. Lényeges peremfeltétel, hogy bármely „r” raszterhez tartozó „t” igénypont igényeit minden esetben csak egy adott disztribúciós központból lehet kiszolgálni, vagyis bármely j-dik központhoz meghatározott „r<sub>j</sub>” számú raszter (illetve „t<sub>j</sub>” számú igénypont) tartozhat, vagyis

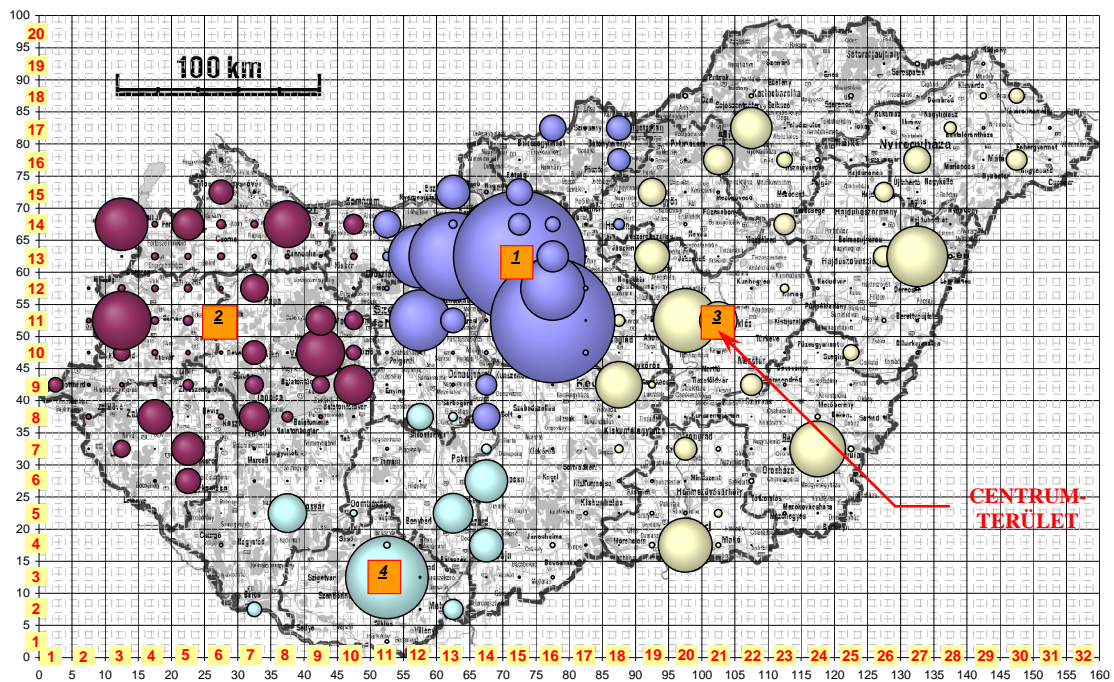
$$\sum_{j=1}^m t_j = x; \quad (2.) \quad \text{és} \quad \sum_{j=1}^m r_j = y; \quad (3.) \text{ teljesül.}$$

Továbbá bármely létesítendő központ jelen esetben legyen korlátlan kapacitású (pl. zöldmezős beruházás), azaz bármekkora igényt hozzá lehessen rendelni. Így a célfüggvény az alábbi alakban írható fel:

$$P_{\text{szállítási}}^{\text{disztribúciós}} = \sum_{j=1}^m \sum_{r=1}^{r_j} I_r \cdot s_{jr} \Rightarrow \text{MIN!}; \quad (4.) \quad \text{ahol} \quad I_r = \sum_{t=1}^{t_r} I_t. \quad (5.)$$

Az első optimalizálási lépés kimenete tehát az optimális centrumterületek elhelyezkedése (lásd 4. sz. ábra – az ábrán a „buborékok” nagysága arányos a raszterre összegzett igényekkel), valamint az azokon elhelyezendő disztribúciós központok kibocsátási intenzitásai, amelyet felírható:

$$I_j = \sum_{r=1}^{r_j} I_r; \quad (6.) \quad \text{alakban.}$$



4. ábra: Egy négyközretes centrumkeresési probléma optimális megoldása

Második lépésben egy ún. *hozzárendelési*, vagy más néven *szállítási* probléma [1.], [11.] megoldásával optimálni kell a hálózati erőforrásokat, vagyis el kell dönteni, hogy mely termelőüzemből mely disztribúciós központokat szolgáljuk ki úgy hogy a termelőüzemek elhelyezkedése és kibocsátási intenzitásai ( $I_i$ ) is adottak, továbbá egy adott disztribúciós központ anyagigénye egyidejűleg több termelő helyről is kielégíthető. Ezt a folyamatot készletfeltöltésnek nevezzük és az ún. *feltöltési szállítási teljesítménnyel* jellemezzük. Az erőforrások optimalítása egy egyszerű lineáris programozási feladat megoldását jelenti, amelyre manapság bármely egyszerűbb optimumkeresésre alkalmas eszköz (pl. MS Excel Solver) is képes. A célfüggvény felírható:

$$P_{\text{szállítási}}^{\text{feltöltő}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m I_{ij} \cdot s_{ij} \Rightarrow \text{MIN!}; \quad (7.) \quad \text{alakban, ahol}$$

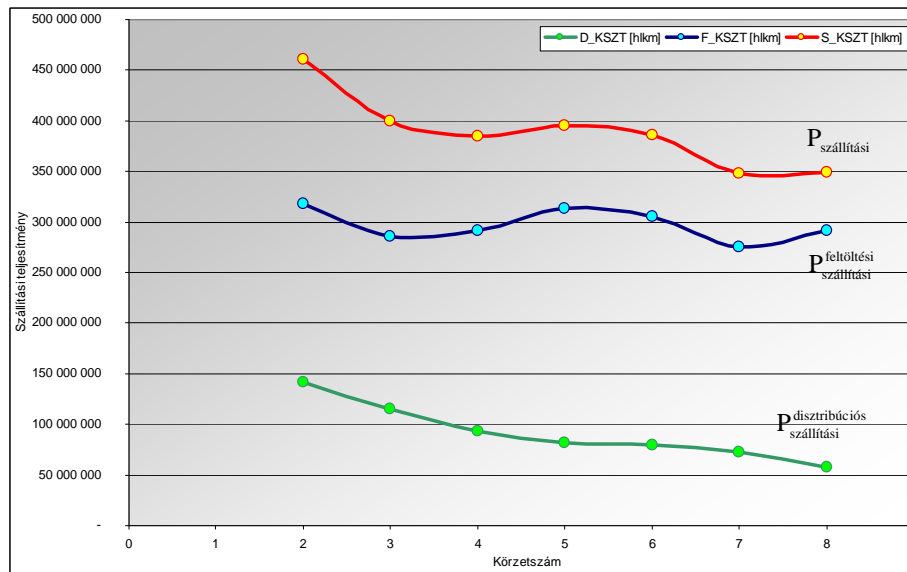
$I_{ij}$  : az anyagáramlás intenzitása az i-dik termelő hely és a j-dik disztribúciós központ között;

$s_{ij}$  : az i-dik termelő hely és a j-dik disztribúciós központ közötti távolság.

A második optimalizálási lépcső kimenete tehát a hálózatra vonatkozó disztribúciós és feltöltési szállítási teljesítményekből adódó *összesített szállítási teljesítmény*, amely az alábbi módon számítható:

$$P_{\text{szállítási}} = P_{\text{szállítási}}^{\text{disztribúciós}} + P_{\text{szállítási}}^{\text{feltöltő}} = \left[ \frac{\text{mennyiségi egység} \cdot \text{távolság egység}}{\text{időszak}} \right]. \quad (8.)$$

Az alábbi (5. sz.) ábra az aggregált szállítási teljesítmények alakulását mutatja az egyes alternatívák (különböző körzetszámok) esetében.



5. ábra: Az egyes alternatívákhoz tartozó szállítás teljesítmények

Az *összesített raktározási teljesítmények* becslésekor alapvetően a tervezett ellátási hálózat működtetéséhez szükséges tervezett betárolási, tárolási, illetve kitárolási és/vagy kommissiózási teljesítményeket kell figyelembe venni. Ezek a jellemzők hasonlóképpen az előzőkhöz egy összetett optimumkeresési feladat eredményeként értelmezhetők. A számítások bemenetei a fenti (szállítási rendszerre vonatkozó) optimumkeresési metodika eredményei, a tervezett rendszertől elvárt (előre definiált) működési paraméterek (pl. tervezett készletforgási sebesség), valamint a kiinduló adatokon elvégzett statisztikai vizsgálatok kimeneti eredményei lesznek. Mivel azonban ezek az optimum számítások meglehetősen összetett és bonyolult optimumkeresési feladatok megoldásaként adódnak (lásd [3.]) a terjedelmi korlátok miatt jelenleg csak ezeknek a számításoknak a legfontosabb kimeneteit ismertetjük:

$$\text{be- és kitárolási teljesítmény: } P_{\text{betárolási}} = \left[ \frac{\text{betárolás}}{\text{időszak}} \right]; \quad P_{\text{kitárolási}} = \left[ \frac{\text{kitárolás}}{\text{időszak}} \right];$$

$$\text{tervezett átlagos készlet szint: } Q_{\text{átlag}} = [\text{mennyiségi egység}];$$

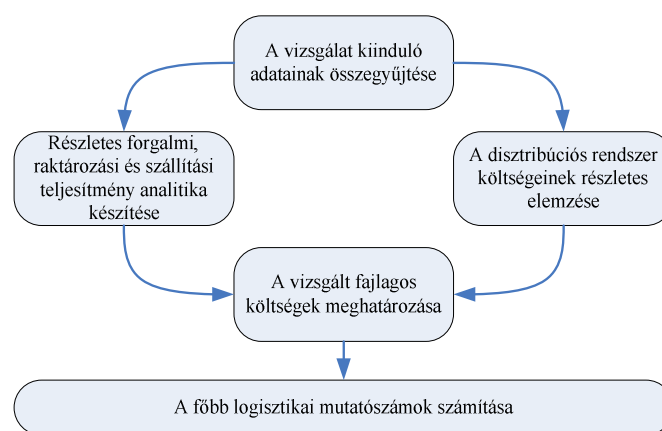
$$\text{kommissiózási teljesítmény: } P_{\text{kommissiózási}} = \left[ \frac{\text{kiszedés}}{\text{időszak}} \right].$$

## 2.2. A megoldási alternatívákhoz tartozó várható költségek becslése

Az összesített szállítási teljesítmény számításánál a (8.)-ban definiált módon kell figyelembe venni a teljesítményeket. A távolság dimenziója szinte minden esetben kilométer, a mennyiség és az időszak dimenziója többféle lehet (pl. hl, db, valamint év, hó stb.) az adott cég specialitásait figyelembe véve. Az előző fejezetben vázolt metodika segítségével tehát rendelkezésünkre állnak a tervezett alternatívák részletes, a különböző részfolyamatokra jellemző logisztikai naturáliái (pl. hl·km/év



dimenzióban). A pénzügyi vizsgálatok során adatbázis elemzések és egyszeri számítások segítségével valamint logisztikai és pénzügyi modellek felállításával a historikus teljesítmény és költség adatokból hányados típusú fajlagos költségek hozhatók létre (pl. HUF/hl/km). Ezen elemzéseknél mind költségoldalról, mind teljesítmény oldaláról az adott folyamathoz kapcsolódó költségek és jellemző tevékenységek leszűrése jelent kihívást, hiszen példánknál maradv a múltbeli feltöltési szállítási teljesítmény és költség meghatározásához pl. a cross docking tevékenység teljesítményét és hozzájuk allokálható költségét is meg kell határozni majd figyelmen kívül kell hagyni. A hányados típusú fajlagos mutatók költség (számláló) oldala előállítható a vállalati költség-nyilvántartási rendszerek és kiegészítő szakértői becslések segítségével. A nevezőben szereplő múltbeli szállítási teljesítmények a legtöbb esetben nem állnak rendelkezésre, hiszen pl. alvállalkozókkal történő fuvaroztatás esetén a cégek nem tartják nyilván a pontos futásteljesítményeket, így pl. hl·km típusú mutatók nem képezhetők. Ezért az előzőekben felvázolt modell a múltbeli teljesítmények becslésére is alkalmas – mutatva a modell ilyen típusú problémákra való alkalmazhatóságának sokoldalúságát –, a múltbeli helyzetnek megfelelő rögzített centrumokkal (disztribúciós központokkal) történő futtatás mellett. A fenti módszer egyszerűsített vázlatát mutatja a következő (6. sz.) ábra.



6. ábra: Az elemzés és a számítások során használt módszertan, és a számításhoz szükséges kiinduló adatok, valamint az eredmény mutatók összefüggése

Az aggregált szállítási költségek és naturáliák alapján képezhető a *becsült fajlagos szállítási költség*  $c_{\text{szállítási}} = [\text{HUF}/\text{hl}/\text{km}]$  mutatója. A raktározási költségek meghatározásánál a különböző számviteli költségeket felbontjuk *fix* és *változó* költségekre. A vizsgált időszakra vonatkozó készletben lekötött tőke alternatív költségének nagyságát az átlagos készletértékek és az alternatív befektetés (az elmúlt években jellemzően 10% körüli) kamatlábának alapulvételével kalkulálhatjuk. A *változó költségek* tehát  $c_{\text{készletezési}} = [\text{HUF}/\text{hl}/\text{év}]$ ,  $c_{\text{betárolási}} = [\text{HUF}/\text{betárolás}]$ ,  $c_{\text{kitárolási}} = [\text{HUF}/\text{kitárolás}]$ , illetve  $c_{\text{kommissiózási}} = [\text{HUF}/\text{kiszedés}]$  típusú mutatókat eredményeznek, amelyeket az előző fejezetben tárgyalt naturáliákkal felsorozva megkapjuk a vizsgált alternatíva összes változó raktározási költségét. Ezen felül a raktározási rendszer sajátosságainál fogva, a telephelyek *fix költségekkel* ( $C_{\text{raktározási, fix}}$ ) is rendelkeznek, amelyek a realizált forgalomtól függetlenek, és a telephelyek számával közel lineárisan növekszenek. A hálózati modell kimeneti naturáliái, és az előbb említett fajlagos költségek felhasználásával meghatározható az egyes alternatívák szállítási és raktározási összköltsége, valamint az ezek összegeként előálló, a *vállalatra jellemző összes logisztikai költség*:

$$C_{\text{logisztikai}} = (c_{\text{szállítási}} \cdot P_{\text{szállítási}}) + C_{\text{raktározási, fix}} + C_{\text{raktározási, változó}} = \left[ \frac{\text{HUF}}{\text{év}} \right]; \quad (9.) \quad \text{ahol}$$

$$C_{\text{raktározási, változó}} = c_{\text{betárolási}} \cdot P_{\text{betárolási}} + c_{\text{készletezési}} \cdot Q_{\text{átlag}} + c_{\text{kitárolási}} \cdot P_{\text{kitárolási}} + c_{\text{kommissiózási}} \cdot P_{\text{kommissiózási}}. \quad (10.)$$

Úgynevezett *érzékenység-vizsgálatokkal* az egyes bementi paraméterek változásának hatásait is elemezhetjük. Fontos megjegyezni, hogy az ilyen típusú elaszticitás vizsgálatok csak egy adott környezetben érvényesek, tehát nagyobb léptékű módosítás csökkenti a megbízhatóságot.

Módszertanilag számos a gyakorlat számára *fontos megjegyzés* kívánkozik az előzőekhez:

- A gyakorlatban sokszor célszerű lehet, az adatkérés mellett helyszíni részletes felmérésekkel a kapott eredményeket verifikálni, illetve a hiányzó adatokat felvenni, hiszen mint már jeleztük, komoly problémákat okozhatnak a vállalati információs rendszerek gyakori hiányosságai.
- Szintén itt fontos kihangsúlyozni, hogy egyes elemzések során célszerű a logisztikai folyamatok körébe a szélesen értelmezett logisztikához kapcsolódó tevékenységeket is bevonni, így pl. az általános vállalatirányítási és a disztribúcióhoz kapcsolódó marketing tevékenység elemeit is. Tapasztalataink alapján kereskedelmi cégeknél az így számított teljes logisztikai költség a szűken értelmezett logisztikai költségekhez képest a teljes forgalomhoz viszonyítva mintegy 0,5-2%-kal magasabb aszerint, hogy az egyes költségelemeket ill. azok bizonyos hányadát melyik költséghelyre allokáljuk. A logisztikai költségek ilyen megközelítésű értelmezését elsősorban az indokolja, hogy egy adott ellátási hálózaton belül az egyes szereplők tevékenysége, így az azokhoz kapcsolódó költségek is a teljes érték-előállítási folyamat elválaszthatatlan részét képezik.
- Az egységes módszertani megközelítést az is indokolja, hogy az ennek segítségével előállított eredmények alapján a cég logisztikai tevékenysége nem csak értékelhetővé, hanem összemérhetővé is válik az azonos tevékenységet végző más társaságok hasonló mutatóival (benchmarking).
- A költségek alakulásának értékelésénél az alábbi tényezőket kell kiemelni:
  - Méretgazdaságosság: mint minden gazdasági folyamatnál a növekvő volumenhozadékok elve jelentős mértékben befolyásolhatja a gazdasági hatékonyságot, elvi példát említve egy regionális vagy egy országos disztribúció mérethatékonysági szempontból jelentősen eltérő értékekkel jellemezhető.
  - Telephelyi költségek meghatározó mértéke, és variabilitása:
    - A klasszikus számviteli rendszerek elszámolási sajátosságaiból adódóan jellemzően a költségek nagyobb részét a telephelyekhez allokálják. Így a telephelyi költségek gyakran jelentősebbek a szállítási költségeknél.
    - Másrészt, míg a szállítási költségek esetén országos tekintetben nem tapasztalhatók jelentős különbségek, addig az egyes régiók gazdasági prosperitásától, a telephelyek frekvenciájától, stb. függően az ingatlanhoz kapcsolódó költségek jelentékeny mértékben (akár 1:3 arányban) eltérhetnek egymástól.
    - A kereskedelmi/termelési és logisztikai funkció egy telephelyen történő gyakori „összemosódása” miatt (nem lehet pontosan azonosítani ill. külön választani az egyes tevékenységek költségeit) rugalmasság vizsgálattal lehet az egyes telephelyi költségösszetevők változásának bizonyos logisztikai költség-aggregátumokra (pl. készletezési költségek) gyakorolt hatását elemezni.

### 2.3. Az optimális döntési alternatíva kiválasztása

Az ellátási hálózat optimális kialakítására vonatkozó megoldás keresése tulajdonképpen a vizsgált döntési alternatívák közötti választást jelenti. A kiválasztást megelőzően rendkívül lényeges, hogy a jelenleg alkalmazott hálózati struktúra minősítését (a már fentebb is definiált módon) a felállított matematikai-logikai és költség modell alkalmazásával végezzük el. Ennek elsődleges célja az, hogy mérni lehessen az optimumkeresés eredményességét a jelenlegi helyzethez képest, vagyis legyen egy viszonyítási alap. A minősítést a kiinduló adatokból számított jelenlegi hálózatot jellemző teljesítmény paraméterek fenti (8.), (9.) és (10.) függvényekbe való behelyettesítésével könnyedén el lehet végezni. A kiválasztási folyamat során az elsődlegesen vizsgált ismérv minden esetben a fenti folyamat eredményeképpen adódó, (9.)-ben definiált módon kalkulálható összesített logisztikai költség, azonban a kiválasztást „nehézítheti” (de egyben könnyítheti is) számos egyéb ismérv (pl. infrastruktúrális tényezők, munkaerő ellátottság, a vizsgált területekre vonatkozó növekedési tényezők stb.) is, amelyek vagy számszerűsíthető, vagy nem számszerűsíthető formában vehetők figyelembe. Jellemzően az a fő cél, hogy a járulékosan figyelembe vehető tényezők közül első körben a közvetlenül „költségesíthető” tényezőket emeljük ki, hogy ezeket egy aggregált „egyéb költség” ( $C_{\text{egyéb}}$ ) formájában az összesített logisztikai költségre szuperponálva a vizsgált alternatíva költségét még jobban megközelítő összesített

költséget lehessen kiszámítani. Végül az egyéb tényezők figyelembe vételére a többtényezős döntéshozatalt segítő értékelemzési eljárások [9.], [11.] segítségével nyílik lehetőség, amelyekkel az optimális döntési alternatíva (esetleg alternatívák) kijelölhető.

### 3. Összefoglalás

Az elmúlt években számos olyan innovációs kutatásban (pl. [2.]) vettünk részt, amelyben komoly infrastruktúrális háttérrel rendelkező, nagy múltú multinacionális vállalatok megbízásából olyan módszereket, eljárásokat kellett kifejlesztenünk, amelyek alkalmazásával arra a kérdésre lehet választ adni, hogy hogyan lehetne egy előre definiált működési paraméterekkel és peremfeltételekkel rendelkező ellátási hálózat optimális felépítését meg-, illetve újratervezni. A kutatások során bebizonyosodott, hogy a meglehetősen sok szempontból vizsgálható, összetett modellezési probléma kezelése rendkívül bonyolult feladat, hiszen az ilyen jellegű problémák egyediségéből adódó „szépsége” az, amely minden esetben a legkomolyabb „ellensége” olyan modellrendszerek és eszközök a kifejlesztésének, amelyek minden körülmények között (pl. két egymástól eltérő logisztikai kultúrájú vállalat esetében is) sikerrel használható. Nyilvánvalóan vannak olyan tényezők és folyamatok, amelyek az ellátási hálózatok felépítésében és működésében komoly hasonlóságot mutatnak, azonban elmondható, hogy az általunk eddig kialakított modellek szakmai „finomságai” és újdonságai a legtöbb esetben az eltérésekből adódtak. A kutatásaink, továbbá az ezek alapján elvégzett konkrét hálózatoptimalizálási projektjeink során szerzett szakmai tapasztalataink alapján elmondható, hogy a modellezés logikája és az alkalmazott optimumkeresési logika, továbbá az alkalmazott eljárások eléggé jól formalizálhatók, azonban egy olyan szoftver kifejlesztésének lehetőségében, amellyel bármely hálózatmodellezési, optimumkeresési probléma kezelhető, (sokakkal ellentétben) meglehetősen szkeptikusak vagyunk.

### Irodalomjegyzék

- [1.] Blumenfeld, D. (2001), Operations Research Calculations Handbook, CRC Press, Boca Raton.
- [2.] Bóna K., Duma L., Kovács P., Tokod J., Molnár B. (2004), A disztribúciós logisztikai rendszerek támogatására szolgáló informatikai, raktározási, és belső anyagmozgatási, illetve kontrolling technológiai fejlesztésére és kutatására irányuló innovációs alkalmazott kutatás. Adversum Kft.-Miskolci Egyetem.
- [3.] Bóna K. (2005), Készletezési rendszerek és folyamatok korszerű optimalizálási módszerei, eljárásai, PhD. értekezés, BME.
- [4.] Chikán A. (2001), Vállalatgazdaságtan, AULA, Budapest.
- [5.] Jándy G. (1975), Rendszerelemzés és irányítás, Statisztikai Kiadó Vállalat, Budapest.
- [6.] Man, K.F., Tang, K.S., Kwong, S. (1999), Genetic Algorithms, Concepts and Design. Springer Verlag, Berlin.
- [7.] Molnár L. (1990), Anyagmozgatási folyamatok tervezése II., Műegyetemi kiadó, Budapest.
- [8.] Prezenszki J. (Szerk.) (2001), Logisztika I. (Bevezető fejezetek). BME Méhnöktovábbképző Intézet. Budapest.
- [9.] Rapcsák T. (2004), Többszemponú döntési problémák, BKAE Elektronikus egyetemi jegyzet, Budapest.
- [10.] Ten Hompel, M., Schmidt, Th. (2003), Warehouse management, Springer Verlag, Berlin.
- [11.] Winston W. L. (1994), Operations Research. Applications and Algorithms, Duxbury Press, England.