

MOŽNOSTI MODELOVANIE DISTRIBUČNEJ SIETE POMOCOU MATEMATICKÉHO PROGRAMOVANIA[#]

POSSIBILITIES OF MODELING THE DISTRIBUTION NETWORK VIA MATHEMATICAL PROGRAMMING

REIFF, Marian

Abstract

This paper is dedicated to mathematical possibilities of modeling the distribution network via discrete mixed integer tasks. There are analyzed different factors that influence the distribution network design. Specifically, there are capacity restrictions of facilities (capacity of warehouses, distribution centers, and production facilities), costs connected with distribution technique (routing problem or direct route warehouse, customer, and warehouse), warehousing costs and safety inventory cost and planning of production.

Key words: facility location, distribution network.

Abstrakt

Príspevok je venovaný možnostiam modelovania návrhu distribučnej siete pomocou úloh zmiešaného celočíselného programovania. V príspevku sú analyzované rôzne faktory ovplyvňujúce návrh distribučnej siete. Konkrétne kapacitné obmedzenia zariadení (kapacita skladov, distribučných centier a výrobných zariadení), náklady spojené s distribúciou (okružné úlohy alebo priama cesta zo skladu k zákazníkovi a naspäť), náklady na skladovanie a poistné zásoby a náklady spojené s výrobným procesom.

Klíčová slova: úlohy rozmiestňovania zariadení, distribučná sieť.

Úvod

Základnou strategickou úlohou každej spoločnosti je rozhodnutie o podobe distribučného systému. Úloha rozmiestnenia zariadení a následné priradenie zákazníkov tvorí dôležitú časť návrhu distribučného systému. Výrobné spoločnosti musia rozmiestniť výrobné zariadenia, montážne centrá, ako aj distribučné centrá a maloobchodné predajne. Schopnosť výrobcu predat produkciu podstatne závisí na rozmiestnení jednotlivých zariadení. Tieto strategické rozhodnutia sú určujúce činitele, či v navrhnutom systéme bude tok materiálu efektívny.

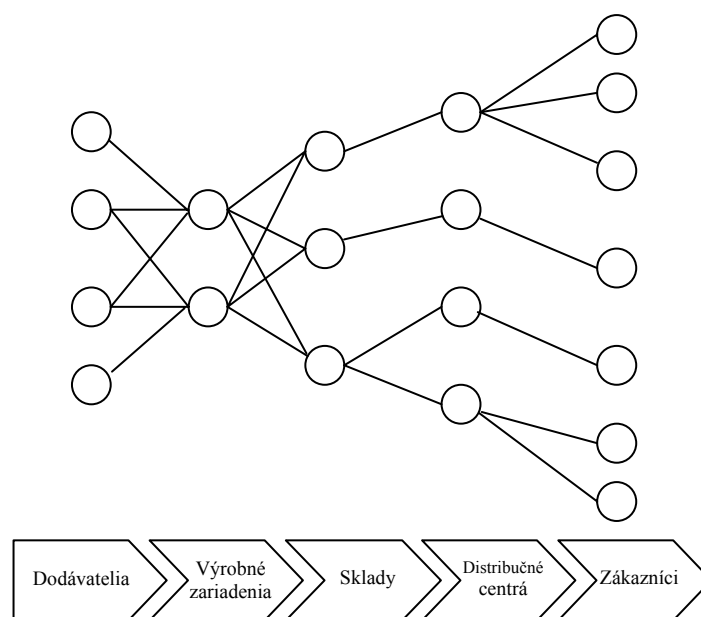
Typická výrobnodistribučná sieť pozostáva z piatich hierarchických úrovní (stupňov) (Obrázok č. 1). Jednotlivé uzly v sieti na jednotlivých stupňoch predstavujú dodávateľov, výrobné zariadenia, distribučné centrá, sklady a zákazníkov. Hrany predstavujú tok medzi

[#] Článok je spracovaný ako jeden z výstupov výskumného projektu MODELOVANIE REVERZNEJ LOGISTIKY – OPTIMALIZÁCIA PROCESOV RECYKLÁCIE A LIKVIDÁCIE ODPADU registrovaného Grantovou agentúrou Slovenskej republiky pod evidenčným číslom 1/4588/07

jednotlivými uzly. Úloha návrhu distribuční sítě pozostává z určení nejlepšího rozmístění jednotlivých zařízení s ohledem na lokalitu, velikost, technologickou kapacitu a produktovou škálu za účelem dosažení dlouhodobých firemních cílů (Dasci a Verter, 2001).

Předpokládáme, že náklady na umístění například distribučního centra v určité lokalitě pozostávají z fixních nákladů (náklady na výstavbu, náklady na pronájem a pod.) a variabilních nákladů (náklady na dopravu, náklady na skladování a pod.). Celkové variabilné náklady na dopravu obsahují náklady na dopravu k maloobchodným prodejcům (zákazníkům), eventuálně aj náklady na dopravu z výrobního zařízení do distribučního centra (zvláště bývají ovela menší než přepravné náklady mezi distribučním centrem a zákazníkem). Ve všeobecnosti je úlohou rozmístit skupinu zařízení tak, že se minimalizují celkové náklady při různých variantách ohraničení. Z množství variant ohraničení uvádíme například ohraničení, které zohledňuje omezenou kapacitu skladu, tato potom limituje oblast, kterou může daný sklad obsluhovat. Alebo například, ak zákazník musí byť zásobovaný z jednoho a jen z jednoho skladu, nebo ak zákazník musí být vzdálený od distribučního centra do určité vzdálenosti, čím je zajištěna rozumná dodací lhůta, atd.

Obrázek 1 – Typická výrobo-distribuční síť



Zdroj: vlastní

Literární přehled

P-medián úloha

K základním diskretním modelům rozmísťovania zariadení patrí p -medián úloha (Hakimi, 1964). V tejto úlohe uvažujeme s množinou zákazníkov rozptýlených v určitom geografickom regióne. Úlohou je rozmístit v regióne p identických zariadení (skladov, distribučných centier), pričom máme m možných lokalít umiestnenia skladov. Ako náhle budú sklady zriadené, n zákazníkov bude zásobovaných z najbližších skladov. V modeli abstrahujeme od fixných nákladov na zriadenie skladu na jednotlivých miestach (zahŕňa aj prípad, keď náklady na zriadenie p skladov nie sú závislé na lokalite alebo ak máme

rozpočtové obmedzenie len na p skladov). Ďalej sa predpokladá, že neexistujú kapacitné obmedzenia skladov pri alokovaní jednotlivých požiadaviek zákazníkov.

Úlohy rozmiestnenia skladov

Takisto ako v p -medián úlohe je daná množina zákazníkov s dopredu známymi požiadavkami a množina možných lokalít umiestnenia jednotlivých zariadení (skladov, distribučných centier). Známe sú pritom fixné náklady na umiestnenie konkrétneho skladu v jednotlivých lokalitách. Taktiež poznáme jednotkové prepravné náklady medzi možnými miestami umiestnenia skladov a fixnými umiestneniami zákazníkov. Úlohou je nájsť také rozmiestnenia jednotlivých skladov a také priradenia skladov k zákazníkom, aby celkové náklady rozmiestnenie a priradenia boli minimálne a boli pritom uspokojené požiadavky zákazníkov. Úlohu rozmiestňovania skladov formuloval (Balinski, 1965). Vo formulácii predpokladá, že jednotlivé sklady nie sú kapacitne obmedzené a to znamená, že ide o úlohu rozmiestňovania kapacitne neobmedzených skladov (zariadení). Riešením tejto úlohy získame najmenej jedno optimálne riešenie, v ktorom bude dopyt zákazníckeho miesta j v plnej výške zásobovaný z najbližšieho vybudovaného skladu i , inak povedané, priradovacia premenná x_{ij} prirodzene nadobudne celočíselnú hodnotu. Verzia s kapacitne obmedzenými skladmi túto vlastnosť nemá a zabezpečiť zásobovanie z jedného zdroja - skladu (single-source) je podstatne zložitejšie. V praxi ale veľa spoločností striktné uprednostňuje zásobovanie z jedného zdroja (single-source), pretože to značne zjednodušuje riadenie toku materiálu, polotovarov a výrobkov.

Úlohy návrhu distribučného systému

Uvažujme s distribučným systémom pozostávajúcím zo zariadení na rôznych hierarchických úrovniach (napríklad výrobné zariadenie, sklady, distribučné centrá, zákazníci). Určenie rozmiestnenia zariadení na vyšších hierarchických stupňoch môže byť rozhodnuté nezávisle na nižších stupňoch v tom prípade, ak zariadenia na vyšších stupňoch majú dostatočne veľkú kapacitu (zjednodušujúcim predpokladom je, že sú kapacitne neobmedzené). V tomto prípade skladovacie a prepravné náklady spojené s týmito zariadeniami sú úmerné dovezenému, respektíve vyvezenému množstvu komodity z týchto zariadení. V opačnom prípade, ak sú aj hierarchicky vyššie zariadenia kapacitne obmedzené, musíme súčasne riešiť rozmiestnenie zariadení na viacerých úrovniach, teda viacstupňovú úlohu rozmiestňovania zariadení. Príkladom takejto úlohy je model (Klose a Drexler, 2005) dvojstupňovej úlohy rozmiestňovania kapacitne obmedzených zariadení.

Vyššie spomínané modely sú založené na predpoklade agregovaného dopytu a agregovaných prepravných nákladov. V prípade, že sa komodity nedajú agregovať (nie sú homogénne), potom v úlohách vystupujú rôzne kapacitné obmedzenia, prepravné náklady atď. pre rôzne heterogénne komodity. V takomto prípade musíme prikrčiť k multikomoditným modelom, kde sú napríklad kapacity uzlov, dopyt a tok jednotlivých komodít osobitne zohľadnené pre jednotlivé homogénne skupiny komodít.

Elson (Elson, 1972) navrhol multikomoditnú úlohu rozmiestňovania skladov v jednoúrovňovom systéme. Elsonov model rozoznáva existujúce sklady, ktoré môžu zväčšiť svoju kapacitu, ale taktiež sa môžu zriadiť (otvoriť) nové sklady.

Geoffrion a Graves (Geoffrion a Graves, 1974) rieši verziu multikomoditnej úlohy rozmiestňovania, ktorá optimalizuje tok komodít medzi výrobným zariadením a zákazníkom cez distribučné centrá, pričom rozmiestňuje distribučné centrá a priraduje zákazníkov k otvoreným (zriadeným) distribučným centrá. Model však neumožňuje výber medzi alternatívnymi výrobnými zariadeniami, nezahrňa fixné a variabilné náklady výrobného zariadenia. Kaufman, Eede a Hansen (Kaufman, Eede a Hansen, 1977) preto navrhli

jednoduchú kapacitne neobmedzenú úlohu rozmiestňovania v dvojúrovňovom systéme so súčasným rozmiestňovaním výrobných zariadení a skladov.

Pirkul a Jayaraman (Pirkul a Jayaraman, 1996), (Pirkul a Jayaraman, 1998) riešia multikomoditnú úlohu rozmiestňovania s kapacitným ohraničením výrobných zariadení a skladov, pričom je dodržaná podmienka, že zákazník bude obsluhovaný z jedného skladu. V tomto modeli zákazníci požadujú rôzne množstvá rozličných komodít. Tieto komodity sú prepravované do potencionálneho skladu z niekoľkých potencionálnych výrobných zariadení a požiadavky zákazníka sú uspokojované z jedného zriadeného skladu. Úlohou je minimalizovať náklady na zriadenie a prevádzkovanie výrobných zariadení a skladov plus prepravné náklady z výrobného zariadenia do skladu a následne k zákazníkovi.

Integrované úlohy rozmiestňovania zariadení a okružných jázd

Výrazným nedostatkom úlohy rozmiestňovania a jej rôznych alternatív je predpoklad, že kapacity prepravných prostriedkov budú plne využité pri preprave komodít z distribučného centra k zákazníkovi. V mnohých prípadoch je preprava tovaru uskutočňovaná v oveľa menších množstvách ako je kapacita napríklad nákladného auta (less-than-truckload LTL). V prípade plného využitia kapacity prepravného prostriedku sú prepravné náklady nezávislé od ďalších uskutočnených prepráv. V prípade LTL prepravné náklady závisia od ďalších zákazníkov na okružnej ceste a od poradia, v ktorom sú jednotliví zákazníci navštevovaní. Elion a kol. (Elion, Watson-Gandy a Christofides, 1971) sú medzi prvými, ktorí upozorňujú na chybu vznikajúcu pri aproximovaní plne nevyužitých kapacít plne využívanými kapacitami prepravných prostriedkov.

Integrované úlohy rozmiestňovania zariadení a úlohy okružných jázd (integrovane úlohy rozmiestňovania a okružných jázd) sa skladajú z troch častí návrhu dodávateľského reťazca: rozmiestnenia zariadení, priradení zákazníkov k jednotlivým zariadeniam a navrhnutia okružných trás rozvozu tovaru. Veľa rôznych rozmiestňovaco - okružných úloh bolo popísaných v literatúre, tieto úlohy sú väčšinou ťažko riešiteľné, pretože spájajú dve NP-ťažké úlohy: úlohu rozmiestňovania zariadení a úlohu okružných jázd.

Využívanie rozmiestňovaco - okružných úloh je obtiažne z dôvodu spájania strednodobých a krátkodobých rozhodnutí. K tejto problematike už bolo uverejnených viacero publikácií zaoberajúcich sa faktom, že zákazníci obsluhovaní v jednotlivých trasách sa môžu meniť dennodenne, zatiaľ čo umiestnenie skladov môže pretrvávať po niekoľko rokov nezmenené. Jeden z prístupov je definovať veľkú skupinu zákazníkov a určiť pravdepodobnosť, v ktorý deň bude treba navštíviť zákazníka. Jaillet (Jaillet, 1988) zavádza tento koncept v pravdepodobnostnom modeli obchodného cestujúceho. Jaillet a Odoni (Jaillet a Odoni, 1988) spracovali prehľad pravdepodobnostných okružných úloh. Túto ideu použil (Berman, Jaillet a Simchi-Levi, 1995) v rozmiestňovaco okružnej úlohe.

Integrované úlohy rozmiestňovania zariadení a optimalizácie zásob

Vplyv zásob na celkové distribučné náklady je už dlho známy (Baumol a Wolfe, 1958), (Eppen, 1979). Úloha rozmiestňovania podľa uvedeného zdroja neberie do úvahy vplyv zásob pri rozvrhovaní distribučných centier, berie iba do úvahy zriaďovacie náklady, ktoré rastú s počtom distribučných centier (n) a priemerné prepravné náklady, ktoré však naopak klesajú s počtom distribučných centier (približne s). Prítom však náklady na zásoby a náklady na poistné zásoby rastú s počtom distribučných centier (približne s). Z tohto dôvodu by mali byť zásoby brané do úvahy pri návrhu dodávateľského reťazca.

V literatúre môžeme nájsť niekoľko formulácií zohľadňujúcich zásoby v probléme rozmiestňovania skladov (distribučných centier). Barahona a Jensen (Barahona a Jensen, 1998) riešia úlohu rozmiestňovania s fixnými nákladmi na zásoby pre danú komoditu v

jednotlivých distribučných centrách. Eerlebacher a Meller (Eerlebacher a Meller, 2000) navrhli viacero heuristik pre riešenia úloh s nelineárnymi formuláciami. Teo, Ou a Goh (Teo, Ou a Goh, 2001) navrhli aproximačný algoritmus, pomocou ktorého minimalizujú zriaďovacie náklady na distribučné centrá a náklady na zásoby, pričom zanedbávajú prepravné náklady. V modeli (Nozick a Turnquist, 2001) sú náklady na zásoby lineárne a priradovanie distribučných centier k zákazníkom sa uskutočňuje iba na základe vzdialenosti medzi distribučnými centrami a zákazníkom. Shen, Coullard a Daskin (Shen, Coullard a Daskin, 2003) navrhli model rozmiestňovania s efektom agregovania rizika (risk pooling). Teória risk pooling tvrdí, že variabilita v dopyte sa zníži, ak budeme agregovať dopyt z viacerých lokalít. Táto redukcia variability umožňuje znížiť poisťné zásoby a tým znižuje celkové náklady na zásoby. Úloha minimalizuje náklady na zriadenie skladov, prepravné náklady k zákazníkom (predpoklad linearitu), náklady na zásoby a na poisťné zásoby v skladoch a prepravné náklady z výrobných zariadení do skladov. Náklady na zásoby v skladoch a prepravné náklady z výrobných zariadení do skladov závisia od priradenia zákazníkov k jednotlivým skladom. Jeden dôležitý kvantitatívny záver zo Shenovho modelu je, že náklady na zásoby rastú percentuálne s celkovými nákladmi. Počet otvorených skladov je oveľa menší ako pri neohraničenej úlohe rozmiestňovania skladov. Shen a Daskin (Shen a Daskin, 2003) rozšírili tento model o úvahy ohľadom zákazníckeho servisu. Ak sa potreba zákazníckeho servisu zväčšuje, následne počet otvorených skladov v optimálnom riešení rastie a ich počet sa blíži počtu otvorených skladov v neohraničenej úlohe rozmiestňovania skladov.

Ozsen, Daskin a Coullard (Ozsen, Daskin a Coullard, 2003) rozšírili Shenov model o kapacitné ohraničenia skladov. Kapacitné ohraničenia skladov sa týkajú maximálneho možného uskladnenia zásob v jednotlivých dodávkových cykloch z výrobného zariadenia, táto úloha je však oveľa ťažšie riešiteľná. Vnáša však veľmi dôležitú dimenziu operácií v distribučnom systéme. V tradičných modeloch je kapacita skladu vyjadrovaná ako maximálny možný výkon v časovom období, čo nie je veľmi presné. V tradičných kapacitne obmedzených modeloch sú iba dve možnosti ako reagovať na zvýšenie zákazníckeho dopytu. Vybudovať viac skladov, alebo priradiť zákazníkov k vzdialenejším skladom, zatiaľ čo vyššie spomenutý model poskytuje tretiu možnosť, a to objednávať rýchlejšie v menších množstvách.

Do určitej miery spájanie riadenia zásob s rozhodnutiami rozmiestnenia postihuje podobný problém, ako spájanie okružných úloh s úlohami rozmiestňovania - zmeny v koncepcii zásobovania môžu byť oveľa rýchlejšie, častejšie revidované ako umiestnenie skladov (distribučných centier). Napriek tomu využívanie týchto modelových prístupov vedie k značne odlišným riešeniam návrhu rozmiestnenia skladov, taktiež lepšie modeluje súčasný stav s ohľadom na kapacitné obmedzenia skladov v prípade zvýšenia dopytu.

Integrované úlohy rozmiestňovania zariadení a plánovania výroby – úlohy návrhu výrobo-distribučného systému

Viacstupňové rozmiestňovacie modely pokrývajú kompletný distribučný systém. V prípade, ak model zahŕňa aj plánovanie výroby, ide o integrované výrobo-distribučné modely (Chandra a Fisher, 1994), (Pooley, 1994), (Vidal a Goetschalckx, 1997), (Erengüc, Simpson a Vakharia, 1999), (Jayaraman a Pirkul, 2001) (Goetschalckx, Vidal a Dogan, 2002), (Yan, Yu a Cheng, 2003).

Dvojstupňové úlohy rozmiestnenia zariadení môžeme ďalej rozšíriť, a to začlenením dodávateľov zabezpečujúcich suroviny výrobným zariadeniam. V literatúre je popísaných veľa modelov zaoberajúcich sa obstarávaním surovín pre výrobné zariadenia a výrobnými alebo distribučnými aktivitami, ktoré posudzujú každý stupeň dodávateľského reťazca

osobitne bez ohľadu na interakcie medzi jednotlivými stupňami systému (Brown, Graves a Honezarenko, 1987), (Cohen a Lee, 1988), (Bhatnagar, Chandra a Goyal, 1993).

Jayaraman a Pirkul (Jayaraman a Pirkul, 2001) navrhli integrovaný výrobnodistribučný model zaoberajúci sa stratégiami zásobovania výrobných zariadení surovinovými zdrojmi, spolu s rozmiestnením a priradením výrobných a distribučných zariadení. Úloha rozmiestňovania zariadení pozostáva zo simultánných rozhodnutí o rozmiestnení výrobných zariadení a distribučných centier (skladov), špecifikovaní kapacít výrobných zariadení a skladov a rozhodnutí o distribúcii surovín a polotovarov. V tomto modeli vstupy (suroviny) pre rôzne výrobné zariadenia môžu byť dodávané rôznymi dodávateľmi, hotové výrobky z výrobných zariadení sú prepravované do multikomoditných skladov, ktoré následne distribuujú hotové výrobky k zákazníkovi.

Jayaraman a Ross v (Jayaraman a Ross, 2003) popisujú PLOT dizajn systém (Production, Logistics, Outbound, Transportation) pre návrh distribučnej siete. Tento systém je charakteristický jedným centrálnym výrobným zariadením, viacerým distribučnými centrami a viacerými cross-dock zariadeniami a zákazníkymi zónami požadujúcimi rôzne komodity. Cross-dock zariadenie je distribučné zariadenie, ktoré neskladuje žiadne zásoby (Dupal' a Brezina, 2006). Prichádzajúce komodity od rôznych dodávateľov (skladov) sa kombinujú a triedia do menších zásielok, ktoré sa hneď expedujú. Výhoda cross-dock zariadení spočíva v tom, že netreba skladovať veľké zásoby a doba strávená produktmi v dodávateľskom reťazci je malá. Taktiež šetrí náklady na manipuláciu s tovarom, pretože tovar nemusí byť uskladňovaný a následne vyskladňovaný. Úspech cross-dock zariadení spočíva v dôslednej koordinácii a synchronizácii medzi prichádzajúcimi a odchádzajúcimi nákladmi (zásielkami).

V prehľadovej práci (Vidal a Goetschalckx, 1997) autori upozorňujú na nedostatok modelov zaoberajúcich sa komplexným zohľadnením materiálových požiadaviek na výrobu (Bill of Materials) pri navrhovaní výrobnodistribučných systémov. (Yan, Yu a Cheng, 2003) sú prví, ktorí úplne zahrnuli ohraničenia dané materiálovými požiadavkami na výrobu do statického multikomoditného viacstupňového rozmiestňovacieho modelu, v ktorom sú dodávatelia vyberaní z množiny možných dodávateľov a výrobné a distribučné zariadenia sú umiestnené vzhľadom na výrobné a distribučné obmedzenia a obmedzenia dané dopytom zákaznických zón. V niektorých prácach (Cohen a Lee, 1988), (Cohen, Fisher a Jalkumar, 1989), (Cohen a Lee, 1989), (Antzen, Brown, Harrison a Trafton, 1995) materiálové normy – požiadavky zohrávajú iba pasívnu úlohu kontroly a neslúžia na riadenie a koordinovanie správania aktivít dodávateľov.

Záver

Príspevok postupne rozoberá možnosti modelovania návrhu distribučnej siete. Zaoberá sa len deterministickými úlohami a poskytuje stručný literárny prehľad. V minulosti sa vedecký výskum v oblasti optimalizačných techník zameriaval viac na parciálne subjekty distribučného systému, čo sa však v posledných rokoch zmenilo a výskum v tejto oblasti sa zameriaval na optimalizáciu celého dodávateľského reťazca.

Literatura

- [1] ANTZEN, B. C., BROWN, G. G., HARRISON, T. P. a TRAFTON, L. L. 1995. Global Supply Chain Management at Digital Equipment Corporation. In: Interfaces, 1995, č. 25, s. 69 - 93.

- [2] BALINSKI, M. L. 1965. Integer Programing: Methods, Uses, Computation. In: Management Science, 1965, č. 12, s. 253 - 313.
- [3] BARAHONA, F. a JENSEN, D. 1998. Plant Location with Minimum Inventory. In: Mathematical Programming, 1998, č. 83, s. 101 - 111.
- [4] BAUMOL, W. J. a WOLFE, P. 1958. A Warehouse-Location Problem. In: Operations Research, 1958, č. 6, s. 252 - 263.
- [5] BERMAN, O., JAILLET, P. a SIMCHI-LEVI, D., Eds. 1995. Location Routing Problems with Uncertainty. Facility Location: A Survey of Applications and Methods. New York: Springer, 1995.
- [6] BHATNAGAR, R., CHANDRA, P. a GOYAL, S. K. 1993. Models for Multi-Plant Coordination. In: European Journal of Operational Research, 1993, č. 67, s. 141 - 160.
- [7] BROWN, G. G., GRAVES, G. W. a HONEZARENKO, M. D. 1987. Design and Operation of a Multicommodity Production/Distribution System Using Primal Goal Decomposition. In: Management Science, 1987, č. 33, s. 1469 - 1480.
- [8] COHEN, M. A., FISHER, M. a JALKUMAR, R. 1989. International Manufacturing and Distribution Networks: a Normative Model Framework Amsterdam: North-Holland, 1989.
- [9] COHEN, M. A. a LEE, B. 1989. Resource development Analysis of Global Manufacturing and Distribution Networks. In: Journal of Manufacturing and Operation Management, 1989, č. 2, s. 81 - 104.
- [10] COHEN, M. A. a LEE, H. L. 1988. Strategic Analysis of Integrated Production-Distribution Models and Methods. In: Operations Research, 1988, č. 6, s. 216 - 228.
- [11] DASCI, A. a VERTER, V. 2001. The Plant Location and Technology Acquisition Problem. In: IIE Transactions, 2001, č. 33, s. 963 - 973.
- [12] DUPAL, A. a BREZINA, I. 2006. Logistika v manažmente podniku Bratislava: Sprint, 2006.
- [13] EERLEBACHER, S. J. a MELLER, R. D. 2000. The Interaction of Location and Inventory in Designing Distribution Systems. In: IIE Transactions, 2000, č. 32, s. 155 - 166.
- [14] ELION, S., WATSON-GANDY, C. D. T. a Christofides, N. 1971. Distribution Management: Mathematical Modeling and Practical Analysis NY: Hafner Publishing Co, 1971.
- [15] ELSON, D. G. 1972. site Location Via Mixed-Integer Programing. In: Operations Research, 1972, č. 23, s. 31 - 43.
- [16] EPPEN, G. 1979. Effects of Centralization on Expected Costs in Multi-Location Newsboy Problem. In: Management Science, 1979, č. 25, s. 498 - 501.
- [17] ERENGÜC, S. S., SIMPSON, N. C. a VAKHARIA, A. J. 1999. Integrated Production-Distribution Planning in Supply Chain: An Invited Review. In: European Journal of Operational Research, 1999, č. 115, s. 219 - 236.
- [18] GEOFFRION, A. M. a GRAVES, G. W. 1974. Multicommodity Distribution System Design by Benders Decomposition. In: Management Science, 1974, č. 20, s. 822 - 844.
- [19] GOETSCHALCKX, M., VIDAL, C. J. a DOGAN, K. 2002. Modeling and Design of Global Logistics Systems: A Review of Integrated Strategic and Tactical Models and Design Algorithms. In: European Journal of Operational Research, 2002, č. 143, s. 1 - 18.
- [20] HAKIMI, S. L. 1964. Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graphs. In: Operations Research, 1964, č. 12, s. 450 - 459.
- [21] CHANDRA, P. a FISHER, M. 1994. Coordination of Production and Distribution Planning. In: European Journal of Operational Research, 1994, č. 72, s. 503 - 517.

- [22] JAILLET, P. 1988. A Priori solution of Traveling Salesman Problem in Which a Random Subset of the Customers are visited. In: Operations Research, 1988, č. 36, s. 929 - 936.
- [23] JAILLET, P. a ODoni, A., Eds. 1988. Probabilistic Vehicle Routing problem. Vehicle Routing: Methods and Studies. Amsterdam: North-Holland, 1988.
- [24] JAYARAMAN, V. a PIRKUL, H. 2001. Planning and Coordination of Production and Distribution Facilities for Multiple Commodities. In: European Journal of Operational Research, 2001, č. 133, s. 394 - 408.
- [25] JAYARAMAN, V. a ROSS, A. 2003. A simulated annealing methodology to distribution network design and management. In: European Journal of Operational Research, 2003, č. 144, s. 629 - 645.
- [26] KAUFMAN, L., EDEDE, M. V. a Hansen, P. 1977. A Plant and Warehouse Location Problem. In: Operations Research, 1977, č. 28, s. 547 - 554.
- [27] KLOSE, A. a DREXL, A. 2005. Facility Location Models for Distribution System Design. In: European Journal of Operational Research, 2005, č. 162, s. 4 - 29.
- [28] NAHMIAS, S. 1997. Production and Operation Analysis Chicago IL: Irwin/McGraw-Hill, 1997.
- [29] NOZICK, L. K. a TURNQUIST, M. A. 2001. A Two-Echelon Inventory Allocation and Distribution Centers Location Analysis. In: Transportation Research, 2001, č. 37, s. 421 - 441.
- [30] OZSEN, L., DASKIN, M. S. a COULLARD, C. 2003. Capacitated facility Location Model with Risk Pooling. 2003.
- [31] PIRKUL, H. a JAYARAMAN, V. 1996. Production, Transportation and Distribution Planning in a Multi-Commodity Tri-Echelon System. In: Transportation Science, 1996, č. 30, s. 291 - 302.
- [32] PIRKUL, H. a JAYARAMAN, V. 1998. A Multi-Commodity, Multi-Plant, Capacitated Facility Location Problem: Formulation and Efficient Heuristics Solution. In: Computers and Operation Research, 1998, č. 25, s. 869 - 878.
- [33] POOLEY, J. 1994. Integrated Production and Distribution Facility Planning at Ault Food. In: Interfaces, 1994, č. 24, s. 113 - 121.
- [34] SHEN, Z. J. M., COULLARD, C. a DASKIN, M. S. 2003. A Joint Location-Inventory Model. In: Transportation Science, 2003, č. 37, s. 40 - 55.
- [35] SHEN, Z. J. M. a DASKIN, M. S. 2003. Tradeoffs Between customer Service and Cost in an Integrated Supply chain Design Framework. In: Manufacturing and Service Operation Research, 2003.
- [36] TEO, C. P., OU, J. a GOH, M. 2001. Impact on Inventory Costs with Consolidation of Distribution Centers. In: IIE Transactions, 2001, č. 33, s. 99 - 110.
- [37] VIDAL, C. J. a GOETSCHALCKX, M. 1997. Strategic Production-Distribution Models: A Critical Review with Emphasis on Global Supply Chain Models. In: European Journal of Operational Research, 1997, č. 98, s. 1 - 18.
- [38] YAN, H., YU, Z. a CHENG, T. C. E. 2003. A Strategic Model for Supply Chain Design with Logical Constraint: Formulation and Solution. In: Computers and Operation Research, 2003, č. 30, s. 2135 - 2155.

Adresa autora/ů:

Marian Reiff

Ekonomická univerzita v Bratislave

Fakulta hospodárskej informatiky / Katedra operačného výskumu a ekonometrie

Dolnozemska 1/b

852 35 Bratislava

Slovenská republika
Telefon: +421 2 672 95 823
E-mail: reiff@euba.sk