

SYSTÉM PRE PODPORU ROZHODOVANIA PRE RIEŠENIE OKRUŽNÝCH JÁZD V INTRAVILÁNE MIEST DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SOLVING THE STREET ROUTING PROBLEM

Peter Matis¹

Abstrakt: Obsluha veľkého množstva zákazníkov v rámci intravilánu mesta je súčasťou mnohých logistických reťazcov. Úlohy takýchto vlastnosti sa často nazývajú aj úlohami okružných jász v intraviláne mesta. Hlavným problémom okružných jász v intraviláne (Street Routing Problem – SRP) je veľký počet zákazníkov a počet možných kombinácií ako ich utriediť do jednotlivých okružných jász je nepredstaviteľný. V článku sú popísané efektívne spôsoby riadenia okružných jász v intraviláne miest pomocou systémov na podporu rozhodovania okrem iného aj geografickými informačnými systémami. Sú prezentované porovnania niekoľkých známych úsporných heuristik na reálnych údajoch a tiež nové heuristické a metaheuristické algoritmy špecializované na tento typ problémov. Dôležitou vlastnosťou geografických informačných systémov pre použitie v riešení okružných jász v intraviláne miest je interaktivita a užívateľsky priateľské prostredie a pritom otvorenosť celého systému. Softvér dokáže nájsť dobré riešenie, preskúmať veľkú množinu možností a odborník môže tieto zmeniť s možnosťou nájsť iné akceptovateľné riešenia. Spomenuté sú vlastnosti iných systémov pre podporu rozhodovania pre riešenie problémov okružných jász ako sú TRANSCAD od firmy Caliper a GeoRoute vytvorený firmou GIRO pre Kanadskú poštu.

Kľúčové slová: SRP, VRP, podpora rozhodovania, GIS, heuristiky, vzhľadová atraktivita

Abstract: Servicing a large number of customers in a city zone is often a part of many logistics chains. This problem is often called a Street Routing Problem (SRP). The main problem of SRP is that, when the number of customers is large, the number of delivery path combinations becomes enormous. As presented in the paper, only using decision support systems such as Geographical Information Systems (GIS) is it possible to effectively manage SRP. Several new and known heuristics for solving SRP are evaluated on the real data and then compared. One of the key properties of GIS for use with the routing software is its flexible interactive and user-friendly environment. Routing software can find a good solution and explore the possibilities while an expert can then change the calculated routes to explore other possibilities based on the expert's judgment. Other Decision Support Systems that solve SRP are presented as TRANSCAD developed by Caliper Corporation or GeoRoute developed by Canadian Post and GIRO.

Keywords: SRP, VRP, decision support system, GIS, heuristics, visual attractiveness

¹ Ing. Peter Matis, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta riadenia a informatiky, Katedra dopravných sietí, e-mail: Peter.Matis@fria.uz.sk

1. ÚVOD

Obsluha veľkého množstva požiadaviek v rámci intravilánu predstavuje častý prípad mnohých distribučných systémov. V tomto podsysteme sú k jednotlivým spotrebiteľom dodávané určité množstvá komodity zo zdroja (centra) dopravnými prostriedkami. Hmotnostná a časová kapacita dopravného prostriedku býva obmedzená, ale obvykle je možné obslúžiť daným prostriedkom väčšie množstvo odberateľov. Úlohy danej kategórie sú náročné a patria k NP zložitým úlohám, a preto je ich riešenie neoddeliteľne spojené s aplikáciou infromatických nástrojov.

Dnes existujú elektronické databázy dopravných infraštruktúr a iné elektronické databázy, ktoré sa dajú využiť na riešenie reálnych trasovacích algoritmov. Zber, udržiavanie a kalibrácia digitálnych údajov o dopravnej infraštruktúre predstavuje stále pomerne veľký problém. Údaje majú často určitú nepresnosť. Táto nepresnosť môže spôsobovať problémy pri určení dobrého riešenia obsluhy odberateľov. Chyby digitálnych údajov sa výraznejšie prejavujú v SRP nakoľko množstvo údajov v SRP je obvykle veľké. Aby bolo možné efektívne udržiavať digitálne mapy a ďalšie údaje používané pri riešení SRP je potrebné mať prostriedok, ktorý to umožňuje a dovoľuje rozširovať údaje a aj funkčnosť celého systému. Takým prostriedkom sa v súčasnosti javí geografický informačný systém (GIS).

2. EXPERIMENTÁLNA VZORKA

SRP nie je veľmi preskúmaný typ úlohy a nie je verejne dostupná vhodná vzorka údajov na základe ktorých by sa dalo skúmať existujúce riešenie s novými prístupmi. Publikácie, ako napríklad [[1]] riešia obvykle konkrétne prípady a nie je možné jednotlivé prístupy navzájom porovnať vzhľadom na špecifiká jednotlivých riešených úloh.

Je potrebné používať vlastnú experimentálnu vzorku, ktorá pokryje čo najlepšie typické SRP a súčasne ju možno použiť na porovnanie jednotlivých riešení. Ako experimentálna vzorka boli použité vybrané sídelné celky (jednotky) SR. Odberatelia v rámci experimentálnej množiny boli definovaní ako vchody domov alebo blokov. Pre určenie vzdialenosti medzi odberateľmi bola použitá úplná uličná infraštruktúra jednotlivých sídelných celkov.

Údaje boli získané manuálnym zberom zo základných máp ZM 1:10000 poskytnutých od Geografického a Kartografického ústavu SR (GKÚ). Celkový počet odberateľov v experimentálnej vzorke je 101977 a celkový počet sídelných jednotiek je 90 čo predstavuje priemerne 1133 odberateľov na jednu sídelnú jednotku. Štatistický úrad SR vykazuje priemerný počet domov na jeden sídelný celok pre všetky sídelné celky Slovenska rovný 421.

3. AGREGÁCIA ODBERATEĽOV

Praktické experimenty [[3]] [5] ukazujú, že ak chceme aplikovať VRP heuristiky na SRP je v mnohých prípadoch potrebné agregovať odberateľov do zhlukov. Jedna z hlavných potrieb agregácie je fakt, že výpočtový čas bežných VRP heuristik raste veľmi rýchlo s rastúcim počtom odberateľov. V experimentoch boli skúmané vlastnosti nasledujúcich typov agregácii.

- Vzdialenostná agregácia, kde sa agregujú odberatelia na základe vzájomnej vzdialenosti, tak aby maximálna vzdialenosť medzi odberateľmi neprekročila určitý limit, pričom je možné umiestniť do jedného zhluku odberateľov z rozličných uličných úsekov.
- Líniová agregácia, pri ktorej je možné agregovať odberateľov na jednej strane uličného úseku tak aby maximálna vzdialenosť odberateľov v zhluku neprekročila určitý limit.
- Líniovo-segmentová agregácia je špeciálny prípad líniovej agregácie, pri ktorej sú agregovaní do jedného zhluku všetci odberatelia na jednej strane ulice bez ohľadu na dĺžku uličného úseku.
- Adresná agregácia predstavuje špeciálny prípad agregácie pri ktorom sa utvorí zhluk na základe spoločnej alebo podobnej adresy, napríklad jeden blok panelového domu.

Experimenty ukazujú že najlepšia agregácia z pohľadu zníženia počtu odberateľov je vzdialenostná agregácia. Na druhej strane táto agregácia vykazuje pomerne vysokú priestorovú deformáciu pozícií stredov agregátov (nových odberateľov).

4. KVALITATÍVNE HODNOTENIE VÝSLEDNÉHO RIEŠENIA

Pri praktickej aplikácii heuristik na riešenie SRP je potrebné sledovať nielen známe kvantitatívne parametre ako je celková dĺžka okružných jazd, hmotnostné, časové, objemové, a iné limity pre jednotlivé okružné jazdy ale aj iné väčšinou kvalitatívne vlastnosti získaného riešenia. Medzi jednu z takýchto vlastností patrí grafická podoba riešenia – vzhľadová atraktivita.

Vzhľadová atraktivita je veľmi dôležitá z praktického pohľadu a výsledná grafická podoba okružných jazd často rozhoduje o tom či bude riešenie užívateľmi systému akceptované. Poot a kol. definujú možné spôsoby merania vzhľadovej atraktivity [[6]]. Neexistuje dostupná publikácia ktorá by sa zaoberala podrobne spôsobmi merania týchto parametrov a tak sme navrhli na základe experimentov [[3]] nasledovné miery.

Trasa je kompaktná ak všetci zákazníci na okružnej jazde sú v približne rovnakých vzdialenostiach. Napríklad pre okružnú jazdu i:

$$COMP_i = \frac{AvgDist_i}{AvgMaxDist_i} \quad (1)$$

kde $AvgDist_i$ je priemerná vzdialenosť dvoch po sebe idúcich odberateľov v okružnej jazde i, a $AvgMaxDist_i$ je priemerná vzdialenosť z 20% najväčších vzdialeností medzi dvoma po sebe nasledujúcimi odberateľmi v rámci okružnej jazdy i.

$DGRB_i$ reprezentuje vzťah vzdialenosti odberateľov od ťažiska okružnej jazdy i. O_i je množina všetkých odberateľov obsluhovaných jazdou i. \hat{O}_i je množina odberateľov ktorí sú obsluhovaní okružnou jazdou i, ale majú podľa vzdušnej vzdialenosti bližšie k ťažisku inej okružnej jazdy.

$$DGRB_i = 2 * \left(1 - \frac{|\hat{O}_i|}{|O_i|} \right) - 1 \quad (2)$$

A vzhľadová atraktivita je definovaná nasledujúcim vzťahom:

$$VA_i = \frac{1}{(NC_i/5 + 1/DGRB_i + 1/COMP_i - 1)} \quad (3)$$

kde NC_i je počet križovaní okružnej jazdy i s inými okružnými jazdami. Hodnota vzhľadovej atraktivity je v ideálnom prípade rovná hodnote 1 ale vzhľadom na reálne rozmiestnenie odberateľov nie je možné často dosiahnuť hodnotu lepšiu ako 0.6.

5. ZHODNOTENIE NAVRHOVANÝCH HEURISTÍK

Podľa dostupnej literatúry neexistuje zatiaľ špecializovaná heuristika zohľadňujúca špecifiká SRP a sledujúca aj iné ako kvantitatívne hľadiská. Pokúsil som sa navrhnúť, implementovať a overiť na experimentoch 9 nových heuristík [[4]] ktorých vlastnosti dokumentuje tabuľka 1.

Navrhované a experimentálne odskúšané heuristiky sú:

- Heuristiky založené primárne na zhlukovaní. Tieto heuristiky používajú metódu že sa najskôr vytvoria zhluky a potom sa vytvoria trasy. Cieľom je vytvoriť prirodzené zhluky a potom spustiť niekoľko obchodných cestujúcich na tieto zhluky.
 - UCFRS - pažravý algoritmus najskôr odhadne počet zhlukov použitím inej heuristiky (napríklad Yellow), následne umiestni centrá zhlukov riešením p-median problému. Potom zaraďuje zákazníkov do zhlukov, pričom skúma zákazníkov v poradí dôležitosti. Za najviac dôležitý je považovaný zákazník, ktorý je blízko k jednému centru ale ďaleko k iným centrá. Ak zákazník nemôže byť z kapacitných dôvodov priradený k najbližšiemu centru je priradený k inému blízkejšiemu ktorý nemá prekročený kapacitný limit.
 - UCFRS2 - vylepšený pažravý algoritmus pracuje podobne ako predchádzajúci algoritmus. Rozdiel je v tom, že zákazníci sú priradení k centru aj ak má byť prekročená kapacita tohto centra a potom v ďalšom kroku sú zhluky balansované tak aby spĺňali kapacitné limity výmenou zákazníkov. Na balansovanie je použitá špeciálna modifikácia dopravnej úlohy.
- Tvarovacie heuristiky
 - Dvojfázová heuristika (DH) v prvom kroku vytvorí zhluky pomocou UCFRS2. V druhom kroku je podobná Yellow heuristike. Úspory sú vyčíslené ako:

$$v_{ij} = c_{Si} + c_{jS} - (\gamma + \lambda z(i, j))c_{ij} \quad (4)$$

kde γ je tvarovací parameter ako v Yellow heuristike, λ je nový tvarovací parameter a $z(i, j)$ je funkcia vracajúca hodnotu 0 ak zákazníci i a j patria do rovnakého zhluku a hodnotu 1 v opačnom prípade. c_{ij} , c_{Si} je cestná vzdialenosť medzi zákazníkmi i a j alebo strediskom a zákazníkom i .

- Upravená dvojfázová heuristika (UDH) využíva úspory určené ako:

$$\begin{aligned} v_{ij} &= c_{Si} + c_{jS} - (\gamma + \lambda_0)c_{ij}; & i \in I; j \in I \\ v_{ij} &= c_{Si} + c_{jS} - (\gamma + \lambda_1)c_{ij}; & i \in I; j \notin I \end{aligned} \quad (5)$$

kde λ_0, λ_1 sú nové tvarovacie parametre.

- Metaheuristiky
 - Tabu search štartuje výpočet z riešenia získaného pomocou UDH. Zoberie jedného zákazníka z jednej trasy a pokúsi sa ho vložiť do inej trasy bez zmeny poradia ostatných zákazníkov v trasách. Skúsi preskúmať aj riešenia ktoré prekračujú kapacitu alebo sú horšie ako súčasne najlepšie nájdené riešenie.

Tab. 1 - Porovnanie vytvorených heuristik pre SRP prípady s viac ako 1000 odberateľmi.

Heuristika	URY	AvgGRB	AvgKomp	AvgKriz	VzhlAtr	Čas
Sweep	75	0.6	0.43	0	0.29	7.5
Yellow	0	0.79	0.54	3.2	0.35	125.7
UCFRS	16	0.89	0.47	6.1	0.28	11.5
UCFRS2	10	0.93	0.51	3.5	0.40	21.3
DH	-3	0.70	0.55	4.1	0.38	428.5
UDH	-3.6	0.69	0.55	5.3	0.38	753.2
TABU-UDH	-4.0	0.77	0.55	5.2	0.39	12652.3
UYellow	-1.5	0.71	0.57	4.2	0.42	89468.2
UDH-VA	-2.2	0.76	0.58	3.6	0.44	279.3
FCH	-1.4	0.68	0.56	4.7	0.39	212.1
DH-NEARP	-0.4	0.69	0.50	5.4	0.34	12.4

- Heuristiky zohľadňujúce vzhladovú atraktivitu
 - Upravená Yellow heuristika používa úspory založené na čiastočnej vzhladovej atraktivite keď sú dve trasy spojené do jednej.

$$v_{jp} = c_{Sj} + c_{pS} - (\gamma + \mu(1 - ZVA_{jp}))c_{jp} \quad (6)$$

kde μ je nový tvarovací koeficient, $ZVA_{jp} \in \langle 0,1 \rangle$ predstavuje zmenu vzhladovej atraktivity, ak sú trasy so zákazníkmi j a p spojené do jednej trasy. Vizualna atraktivita je odhadnutá na základe kompaktnosti a GRB.

- UDH-VA pracuje rovnako ako UDH ale účelová funkcia je upravená na tvar:

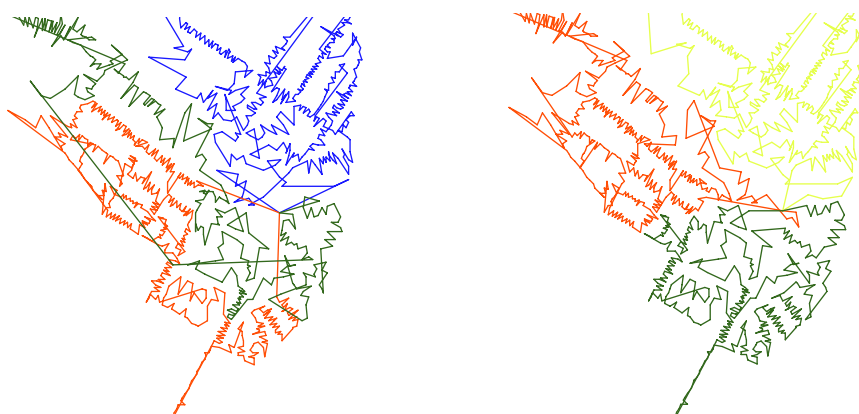
$$\min UFV = w * VA + (1 - w) * \frac{UF}{UF_{Yellow}} \quad (7)$$

Kde w je váha vzhladovej atraktivity UF je hodnota pôvodnej účelovej funkcie a UF_{Yellow} hodnota pôvodnej účelovej funkcie po vyriešení pomocou Yellow heuristiky.

- Heuristiky s nejednoznačným zhlukovaním
 - Fuzzy cluster heuristika (FCH) je pomerne komplikovaná heuristika. Používa zhlukovanie pomocou "fuzzy c-means". Patričnosť zákazníka do jednotlivých zhlukov je popísaná ako trojuholníkové fuzzy číslo.

- Heuristiky so zmiešaným modelom obsluhy hrán a vrcholov
 - DH využívajúca NEARP [2] štruktúru reprezentácie grafu je variácia DH s použitím NEARP reprezentácie grafu.

ÚRY – priemerná odchýlka účelovej funkcie oproti riešeniu získanému Yellow heuristikou [%], AvgGRB – Priemerná relatívna vzdialenosť od GRB voči dĺžke trasy, AvgKomp – priemerná kompaktnosť okružných jazd, AvgKriz – Priemerný počet križovaní okružných jazd, VzhlAtr – Priemerná vzhľadová atraktivita, Čas – priemerný čas výpočtu [s]



Obr. 1 - Okružné jazdy pre Malacky získané Yellow heuristikou a DH.

Z tabuľky 1. vyplýva že neexistuje univerzálna heuristika, ktorá by dokázala nájsť riešenie, ktoré by bolo kvantitatívne a kvalitatívne vždy to najlepšie riešenie. Preto je potrebné v nástroji pre podporu rozhodovania umožniť užívateľovi vybrať si akým spôsobom chce získať riešenie alebo dokonca aj špecifikovať heuristiku ktorú chce použiť.

6. NÁSTROJ PRE PODPORU ROZHODOVANIA PRI RIEŠENÍ SRP

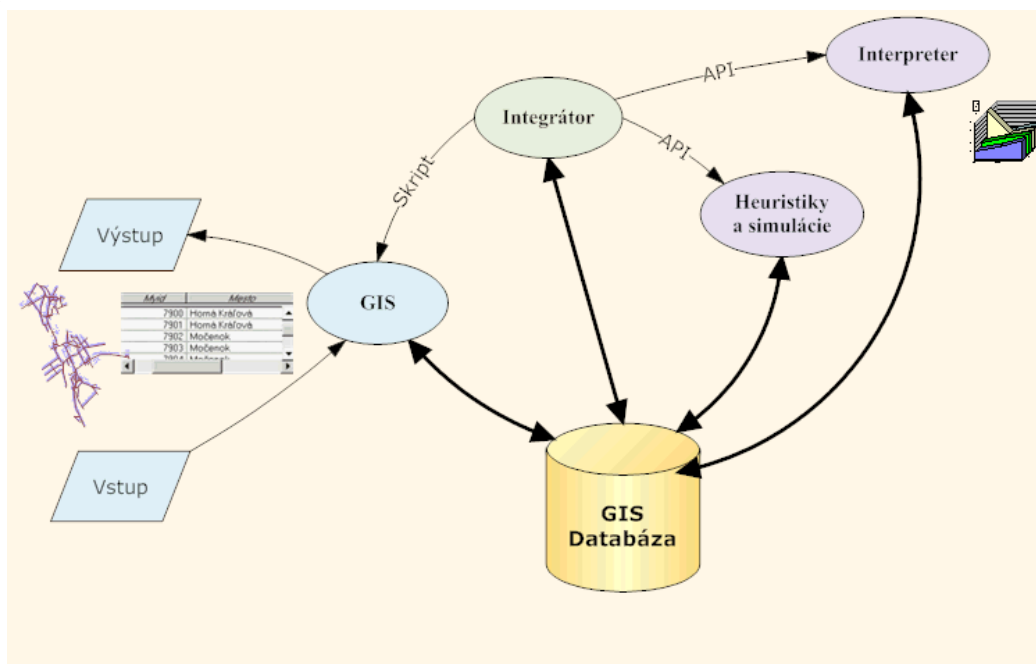
Jednou z hlavných príčin prečo nie sú matematické modely alebo heuristiky prakticky používané pri riešení SRP (na území Slovenska) je, že neexistuje ucelený nástroj a metodiky pre podporu rozhodovania.

Vo svete existuje niekoľko aplikácií, ktoré v sebe obsahujú podporu pre riešenie dopravných problémov, ktoré by bolo možné používať pri riešení SRP napríklad:

- GeoRoute od firmy GIRO, predstavuje samostatný softvér na riešenie úloh, ktoré majú SRP charakter. Je to uzatvorený systém.
- ArcGIS Network Analyst je nadstavba pre štandardný GIS od firmy ESRI. Je otvorený systém. Úlohy riešiteľné pomocou tejto aplikácie majú charakter VRP. Množina heuristik, ktoré je možné využívať je veľmi limitovaná.
- TRANSCAD od firmy Caliper je špecializovaný GIS pre dopravné problémy a dopravné plánovanie. Obsahuje heuristiky na riešenie VRP alebo ARP nie však na riešenie SRP.
- GeoMap od firmy GeoMap predstavuje samostatný softvér na základe GIS a CAD vlastností. Z pohľadu používaných riešiacich algoritmov je to uzatvorený systém, a nie je možné experimentovať s inými ako systémom ponúkanými heuristikami. Rieši VRP úlohy.

Z pohľadu úspory času potrebného na implementáciu nástroja bol zvolený GIS ako prostriedok zobrazenia a tiež udržiavanie základnej databázy. Schéma prepojenia komponentov nástroja je dokumentovaná na obrázku 3.

Integrátor predstavuje hlavné užívateľské rozhranie. Umožňuje kontrolovať jednotlivé heuristiky, prepojenie údajov na GIS a interpretér, slúži na tvorbu modelu SRP. V nástroji bol použitý GIS ArcView od firmy Esri, pre svoju otvorenosť a možnosť ovládania funkčností. GIS je riadený z integrátora pomocou Avenue skriptovacieho jazyka, C#, Vbasic podľa použitej verzie ArcView. GIS v nástroji zabezpečuje funkciu editora údajov jednotlivých SRP úloh, funkciu vizualizácie riešenia, funkciu úprav riešenia. Modul heuristik obsahuje okrem samotných heuristik systém pre správu modelu SRP a algoritmy pre vyhodnocovanie kvantitatívnych a kvalitatívnych parametrov modelu a riešení. Interpretér je doplnkový modul, ktorý slúži na vizualizáciu ďalších parametrov SRP prostriedkami, ktoré nie sú v GIS dostupné.



Obr. 2 - Schéma prepojenia komponentov nástroja na podporu rozhodovania pri riešení SRP

7. ZÁVER

Príspevok sumarizuje možnosti riešenia obsluhy početného množstva požiadaviek v rámci intravilánu obcí alebo miest za pomoci prepojenia GIS prostriedku a metaheuristik. Sú prezentované rozdiely pri riešení SRP oproti klasickým VRP. Je ukázané aké dôležité sú aj iné zväčša kvalitatívne hľadiská pri výbere vhodnosti riešenia. Je ukázaná a realizovaná možná implementácia nástroja na podporu rozhodovania pri riešení SRP úloh za podpory GIS prostredia.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] AMPONSAH, S.K., SALHI, S. The investigation of a class of capacitated arc routing problems: the collection of garbage in developing countries, *Waste Management* 24, 2004, s. 711 – 721.
- [2] LACOMME, P., PRINS, CH., RAMDANE-CHERIF, W. Evolutionary Algorithms for Arc Routing Problems, Third Meeting of the Spanish research project SADERYL Conference on Routing and Location CORAL, 2003, Tenerife, Spain.
- [3] MATIS, P. Management of street routing problems using decisions support system, *Communications 3*, Žilinská univerzita v Žiline, 2006, s. 5 – 8
- [4] MATIS, P. The relationship between quantitative and qualitative measurements in solving of street routing problems, 15th International Scientific Conference on Mathematical Methods in Economics and Industry, Herlany 2007, s. 144 – 152.
- [5] MATIS, P. Decision support system for solving the street routing problem, *Transport* 2008, 23(3), s. 230 – 235.
- [6] POOT, A., KANT, G., WAGELMANS, A. A Saving based method for real-life vehicle routing problems, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 53, 2002, s. 57-68.
- [7] RUIZ, R., MAROTO, C., ALCARAZ, J. A decision support system for a real vehicle routing problem, *European Journal of Operational Research* 153, 2004, s. 593 – 606.
- [8] SILVA, C. G., FIGUEIRA, J., LISBOA, J., BARMAN, S. An interactive decision support system for an aggregate production planning model based on multiple criteria mixed integer linear programming, *Omega* 34, 2006, s. 167 – 177.

Recenzent: doc. Ing. Josef Volek, CSc.
Univerzita Pardubice, DFJP, Katedra informatiky v doprave