ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV Řízení a ekonomiky podniku

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

Optimalizace logistických tras pomocí matematických modelů

Ing. Josef Košťálek

Doktorský studijní program: Strojní inženýrství

Studijní obor: Řízení a ekonomika podniku

Školitel: *doc. Ing. Michal Kavan, CSc.*

Teze disertace k získání akademického titulu "doktor", ve zkratce "Ph.D."

Praha *Prosinec 2018*

Název anglicky: *Optimization of logistic routes using mathematical models*

Disertační práce byla vypracována v prezenční formě doktorského studia na Ústavu *řízení a ekonomiky podniku* Fakulty strojní ČVUT v Praze.

Disertant: *Ing. Josef Košťálek*
Ústav *řízení a ekonomiky podniku* , Fakulta strojní ČVUT v Praze
Karlovo náměstí 13, 121 35 Praha 2

Školitel: *doc. Ing. Michal Kavan, CSc.*
Ústav *řízení a ekonomiky podniku*, Fakulta strojní ČVUT v Praze
Karlovo náměstí 13, 121 35 Praha 2

Oponenti:

Teze byly rozeslány dne: ....

Obhajoba disertace se koná dne .... v ……… hod.

na Fakultě strojní ČVUT v Praze, Ústavu řízení a ekonomiky podniku, Karlovo nám. 13, 121 35 Praha 2, v zasedací místnosti B 234 (ve 2. patře)

před komisí pro obhajobu disertační práce ve studijním oboru Ř*ízení a ekonomika podniku*.

S disertací je možno se seznámit na oddělení vědy a výzkumu Fakulty strojní ČVUT v Praze, Technická 4, Praha 6.

prof. Ing. František Freiberg, CSc.
předseda oborové rady oboru Ř*ízení a ekonomika podniku*
Fakulta strojní ČVUT v Praze

OBSAH

1. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

V podnikové praxi se často setkáváme s problémem v jakém pořadí navštívit množinu bodů, tak abychom se vrátili do bodu výchozího a přitom ujeli nejkratší možnou trasu. Pro tento matematický problem se vžilo označení úloha obchodního cestujícího. I když se takto formulovaná úloha může zdát triviální, jedná se stale o jeden ze šesti nevyřešených matematických problémů považovaných za problémy tisíciletí. Jak by mělo vypadat řešení tohoto problému? Jak uvádí <<https://www.businessinsider.com/p-vs-np-millennium-prize-problems-2014-9>>, [cit. 1. 4. 2017], hledá se „dobrý“ algoritmus, který dokáže určit za všech okolností nejkratší cestu pro sebe vyšší počet bodů. Jaký je rozdíl mezi „špatným“ a „dobrým“ algoritmem? Určujícím kritériem je spotřeba času v závislosti na počtu míst, pro která bude trasa hledána. Přitom se časová spotřeba uvažuje přímo úměrná počtu kroků, kterými algoritmus dojde k optimálnímu řešení tj. nejkratší trase, jak uvádí Applegate (2007, s. 49 - 50). U „dobrého“ algoritmu je počet kroků, resp. časová spotřeba (T) závislá na počtu míst (n) vyjádřena lineární nebo mocninou funkcí. Potom hovoříme o polynomiálním čase a polynomiálních algoritmech jako dobrých viz vzorec 1 a 2.

$$T = n^{k};\, kde\, k \in N; \qquad (1.)$$

$$T = a \bullet n^{k1} + b \bullet n^{k2} + c \bullet n^{k3} \ldots$$
$$kde\, k_1, k_2, k_3 \ldots \in N \qquad (2.)$$

Příkladem „špatného“ algoritmu je např. řešení spočívající ve vyzkoušení všech kombinací (resp. v tomto případě permutací) a výběru té nejlepší tj. té dávající nejkratší trasu, tento přístup se označuje termínem enumerativní metoda, jak uvádí Zelinka (2009, s. 38).

Výše uvedený problém tisíciletí spočívá v nalezení „dokonalého“ algoritmu tj. algoritmu, kde počet kroků roste v závislosti na počtu bodů maximálně polynomiální funkcí. Jak uvádí Crilly (2010, s. 187) a Zelinka (2009, s. 143) takový algoritmus by spadal do třídy matematiky označované jako P (polynomiální) zatímco úloha obchodního cestujícího spadá do třídy NP (nedeterministicky polynomiální) a velkou otázkou je zda jsou tyto třídy totožné či nikoliv. Je možné, že tyto třídy nejsou totožné tj., že dokonalý algoritmus neexistuje. S touto myšlenkou přišel jako první v roce 1956 Merrill Flood, jak uvádí Cook (2012, s. 20). Ovšem dodnes pro ní nebyl předložen adekvátní matematický důkaz.

I když problém nebyl v plné šíři dodnes vyřešen, byly formulovány některé zákonitosti. Např. Merrill Flood v roce 1956 dokázal, že optimální trasa nesmí sama sebe křížit, jak uvádí Fletcher (1968, s. 74). Nebo zákonitost, že pokud bychom nalezli řešení některého NP problému v polynomiálním čase (např. problém obchodního cestujícího), znamenalo by to, že jde vyřešit v polynomiálním čase každý NP problém a platilo by NP = P, jak uvádí Zelinka (2009 s. 144). Applegate (2007) uvádí, že v roce 1993 se podařilo vyřešit problém obchodního cestujícího o rozsahu 4461 míst.

Problém obchodního cestujícího je možné např. přepsat do podoby matematického modelu a hledat řešení v podobě hodnot proměnných pomocí binárního lineárního programování. Kde délka trasy je účelovou funkcí a hledají se hodnoty binárních proměnných (sekvence nul a jedniček) tak, aby účelová funkce (vztah 3) nabývala minima při dodržení omezujících podmínek (vztahy 4, 5, 6) zabezpečujících navštívení všech bodů a vytvoření celistvého okruhu trasy.

$$\mathrm{F} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} \cdot x_{ij} = \min . \qquad (3.)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \ldots n \qquad (4.)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, \quad j = 1,2,\dots n \tag{5.}$$

$$\delta_i - \delta_j + n \cdot x_{ij} \le n-1, \tag{6.}$$

$$i = 1,2,\dots n$$

$$j = 1,2,\dots n$$

Problémem tohoto přístupu je prudký nárůst počtu proměnných i omezujících podmínek se zvyšujícím se počtem míst a proto zde vzniká problém jakým matematickým aparátem tento model řešit.

Vysoká výpočetní náročnost při hledání exaktního matematického řešení vedla k vytvoření některých heuristických metod hledajících nejlepší řešení na bázi náhodného prohledávání. Často je tak nalezeno nikoliv nejlepší existující řešení, nýbrž řešení, které je dostačující a přitom je nalezeno v kratším čase a s použitím levnějšího vybavení (softwarového i hardwarového).

2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Ve své disertační práci si kladu za cíl přispět k rozšíření palety způsobů, algoritmů a postupů řešících matematický problém označovaný jako problém obchodního cestujícího na heuristické bázi a dále přinést řešení některých otázek, které s tímto problémem souvisí. Mou ambicí je nalézt nové úhly pohledu na řešení tohoto problému a objevit souvislosti a zákonitosti, které by přispěly k formulaci nových způsobů řešení tohoto problému právě na půdě heuristických algoritmů.

GLOBÁLNÍ CÍL:

Rozšíření oblasti matematických modelů sloužící pro účely logistiky o nové metody.

DÍLČÍ CÍLE:

Vytvoření a vyzkoušení vlastní heuristické metody schopné nalézt trasu minimální délky při dodržení všech omezujících podmínek.
U vytvořené heuristické metody zjistit její oblasti fungování (limity), kvantifikovat její parametry a statisticky je otestovat.
Doplnění problému o hledání optimální polohy výchozího bodu.
Vytvoření modelu jako rozhodovacího nástroje při optimalizaci v podmínkách omezených zdrojů.
Vytvoření metody pro odhad délky optimální trasy.

HYPOTÉZY DISERTAČNÍ PRÁCE:

V symetrické matici vzájemných vzdáleností mezi definovanými body existuje kritická hodnota, kterou vzdálenosti ležící na nejkratší trase nepřekročí.

Jestliže počet kroků algoritmu v mé heuristické metodě a stejně tak velikost odchylky mezi nalezeným řešením a řešením nejlepším možným je náhodnou veličinou, tato náhodná veličina se řídí Gauss-Laplaceovým (normálním) rozdělením pravděpodobnosti.

Jestliže je zaručena platnost hypotézy 2 na přijatelné hladině významnosti středního hodnota není vyšší než 7 a velikost odchylky se pohybuje v intervalu 2 až 7 % pro symetrický problém s platností trojúhelníkové nerovnosti o rozsahu 15 bodů (43 589 145 600 permutací jak nalézt řešení).

3. METODY ZPRACOVÁNÍ

V první fázi jsem použil empirické pozorování matic vzájemných vzdáleností mezi definovanými body ***C*** a jejich srovnání s maticemi výsledků ***V***. Přičemž jsem využil aparátu popisné statistiky pro práci s daty. Stanovil jsem zákonitost, že optimální trasu netvoří ty cesty (vzdálenosti mezi body) jejichž velikost překračuje kritickou mez. Tento poznatek jsem použil k vytvoření vlastního heuristického algoritmu schopného rychle a spolehlivě řešit problém obchodního cestujícího. Metody a algoritmy byly postupně zdokonalovány, takže vznikaly modely schopné řešit tyto problémy o velikostech 10 míst, 15 míst a nakonec i 20 míst, což odpovídá kombinatorickému problému čítajícímu $6{,}08 \bullet 10^{16}$ různých permutací jak nalézt řešení.

Pro vyhodnocení fungování vytvořených modelů jsem použil statistické testování a intervalové odhady. Aby bylo možné nasadit tyto metody bylo nutné ověřit platnost podmínky v podobě normálního rozdělení dat. Tuto podmínku jsem ověřil pomocí χ^2 testu, který ovšem dost dobře nefungoval z důvodu nevelkého množství dat, proto jsem nasadil účinnější metodu a to Kolmogorovův-Smirnovův test. Prokázal jsem, že data mají normální rozdělení. Na počet kroků, které algoritmus vykoná při hledání optimálního řešení, jsem nahlížel jako na náhodnou veličinu a testoval jsem statistickou hypotézu říkající, že střední hodnota této náhodné veličiny je nižší než 7 kroků viz vztah 7. Tuto hypotézu se mi podařilo prokázat na hladině významnosti α = 0,05.

$$T = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s} \bullet \sqrt{n} \qquad (7.)$$

V případě, kdy algoritmus našel sub optimální řešení jsem porovnával velikost odchylky mezi optimálním řešením získaným exaktně matematicky a sub optimálním řešením získaným heuristicky a provedl jsem intervalový odhad těchto odchylek viz vztah 8.

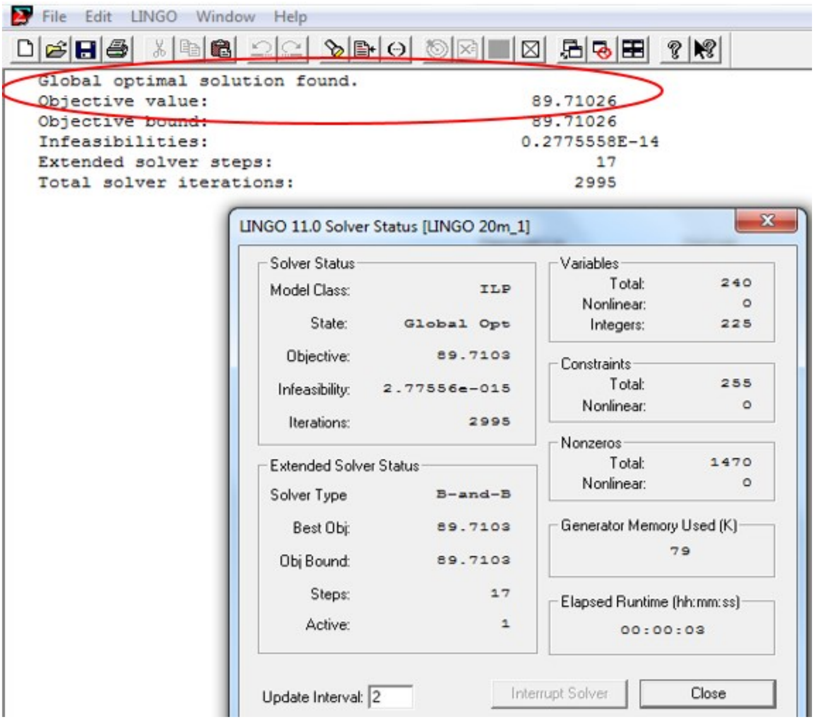
$$P(\bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}}[n-1] \bullet \frac{s}{\sqrt{n}} < \delta < \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}}[n-1] \bullet \frac{s}{\sqrt{n}}) = 1 - \alpha \quad (8.)$$

Kde jsem zjistil, že s 95 % pravděpodobností je velikost odchylky v rozmezí 3,35 až 6,51%.

Zmiňovaný exaktní matematický výpočet jsem realizoval ve specializovaném *SW LINGO* viz obr. 1. Tímto způsobem jsem získal sekvence optimálních tras s nejmenší možnou délkou, které jsem mohl porovnávat s výsledky nalezenými pomocí svých heuristických modelů.

Obr. 1: Ukázka výstupu z optimalizačního programu LINGO

Zdroj: vlastní



V praktické aplikaci úlohy obchodního cestujícího je výchozím bodem zpravidla sklad zásobující množinu zbylých bodů. Zabýval jsem se volbou polohy tohoto bodu neboli Weber-Steinerovým problémem, ovšem modifikovaným v tom smyslu, že je možné definovat zakázané oblasti, ve kterých z nějakého důvodu (terénní překážky, zastavené oblasti, vodní plochy atd.) tento centrální bod (např. sklad) ležet nesmí. Klasický Weber-Steinerův problém je definován vztahem 9.

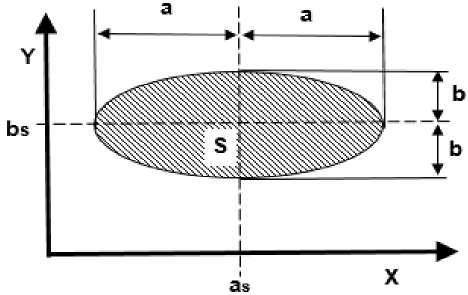
$$F = \sum_{i=1}^{n} Q_i \bullet z_i = \min. \qquad (9.)$$

Kde se jedná o minimalizaci součtu jednotlivých součinů vzdáleností z_i mezi centrálním bodem a zbylými body a objemu přepravy do jednotlivých bodů Q_i.

Modifikace tohoto problému se projeví přidáním dalších omezujících podmínek zabezpečujících, že centrální bod nebude ležet v oblasti definované jako zakázaná. Situaci budu demonstrovat na příkladu, kdy zakázaná oblast bude eliptického tvaru viz obr. 2.

Obr. 2: Zakázaná oblast eliptického tvaru

Zdroj: vlastní



$$IF\ (X - a_S)^2 \leq a^2 \quad THEN \quad (Y - b_S)^2 \geq \left[1 - \frac{(X-a_S)^2}{a^2}\right] \cdot b^2 \qquad (10.)$$

Pro souřadnice centrálního bodu *[X,Y]* potom plyne následující omezující podmínka ve tvaru implikace viz vztah 10, kterou lze transformovat do podoby umožňující řešení pomocí standardních optimalizačních programů, kterým je i nástroj *řešitel* v MS Excelu. Transformaci omezující podmínky popisují vztahy 11 až 14.

$$(A \Rightarrow B) \Leftrightarrow (\neg A \vee B) \tag{11}$$

$$(X - a_S)^2 > a^2 \quad \text{OR} \quad (Y - b_S)^2 \geq \left[1 - \frac{(X - a_S)^2}{a^2}\right] \cdot b^2 \tag{12}$$

$$(X - a_S)^2 \geq a^2 - M \cdot t \tag{13}$$

$$(Y - b_S)^2 \geq \left[1 - \frac{(X - a_S)^2}{a^2}\right] \cdot b^2 - M \cdot (1 - t) \tag{14}$$

Do modelu je přidána nová pomocná binární proměnná *t* a *M* je *prohibitivní konstanta*, jak uvádí Jablonský (2007, s. 102), jedná se o velké číslo potom je vždy zaručeno, že platí vztah 13 nebo 14, ovšem ty jsou podle vztahu 11 jinou podobou požadovaného tvaru pro implikaci. Shrnuto když X-ová souřadnice centrálního bodu leží v průmětu elipsy na vodorovnou osu Y-ová souřadnice bude mít takovou hodnotu velkou nebo malou, aby se bod nacházel mimo eliptickou oblast.

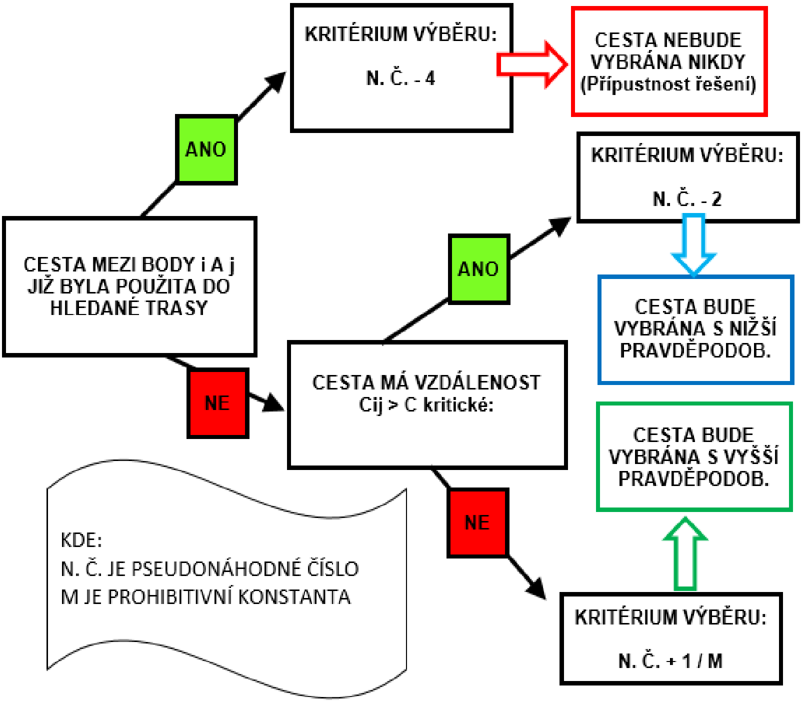
4. VÝSLEDKY

Na základě výše popsaného řešení problému matematického zápisu podmínek na zakázané oblasti, ve kterých nesmí být umístěn centrální bod, byl vytvořen model KY2. Vstupem do tohoto modelu jsou souřadnice množiny bodů, intenzita přepravy mezi těmito body a centrálním bodem i definování zakázaných oblastí. Model vypočítá nejvýhodnější dovolenou polohu centrálního bodu. Zakázaných oblastí může být zadáno několik a to ve tvarech: obdélník, kruh, elipsa.

Hlavním výsledkem je vytvoření a popsání vlastní heuristické metody pro řešení úlohy obchodního cestujícího o rozsahu 15 i 20 bodů. Na základě této metody byly vytvořeny modely pro snadné a rychlé řešení tohoto problému viz obr. 3. Modely potažmo heuristické algoritmy a vyvinuté metody byly vyzkoušeny a otestovány čímž byla potvrzena jejich funkčnost.

Obr. 3: Schematizace hl. principu heuristickýh algoritmů

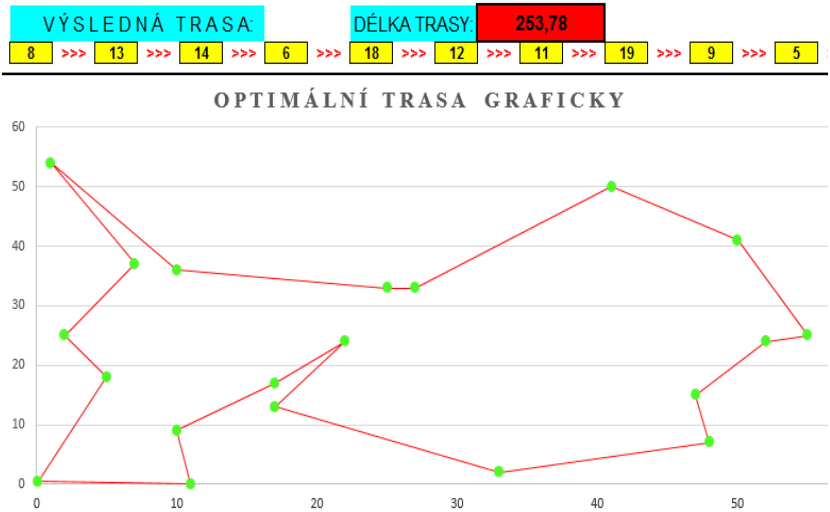
Zdroj: vlastní



Svou originalitu má i technické provedení výstupů z modelu, kde byl kladen vysoký důraz na jednoduchost vizualizaci a uživatelskou komfortnost. Výsledek je interpretován nejen v podobě optimálního pořadí bodů, ale celá trasa je zakreslena graficky jak ilustruje obr. 4.

Obr. 4: Výstup z modelu vykreslující nalezenou trasu

Zdroj: vlastní



5. ZÁVĚR

Veškeré myšlenkové postupy uvedené v této publikaci jsem uvedl v určitém stručném průřezu. V disertační práci jsou tyto myšlenkové postupy rozvinuty v plné šíři.

Disertační práce si kladla za svůj globální cíl alespoň o malý krůček rozšířit současné lidské poznání v oblasti matematických modelů používaných v logistice, zejména při optimalizaci logistických tras. Tento cíl se podařilo splnit. Podařilo se nalézt některé jiné pohledy na problém a zejména díky tomu vytvořit vlastní heuristickou metodu schopnou vyřešit úlohu obchodního cestujícího až pro rozsah 20 míst. Byla ověřena funkčnost této metody.

Zároveň byly řešeny některé související problémy. Zejména modifikace Weber-Steinerova rozmisťovacího problému při uvažování zakázaných oblastí. Byl zformulován způsob jak vyřešit problém zápisu zakázané oblasti pomocí omezující podmínky v matematickém modelu a to s využitím lineárního (resp. nelineárního) programování se speciálními omezujícími podmínkami. Oba tyto hlavní výsledky byly zpracovány do aplikovatelných modelů schopných řešit konkrétní problém v praxi. Zároveň byly všechny tyto poznatky publikovány ve vědeckých časopisech a prezentovány na konferencích různých úrovní včetně databáze SCOPUS.

Podařilo se ověřit hypotézy disertační práce. Také jsem se zabýval některými dílčími otázkami mající vazbu na výše zmíněné hlavní problémy jako jsou např. vlastnosti vytvořené heuristické metody v modifikaci asymetrického problému obchodního cestujícího, způsoby odhadu délky optimální trasy nebo rozvržení zdrojů pro výpočetně složitý problém při omezeném čase, který je pro řešení k dispozici.

Publikace autora související s tématem disertace:

KOŠŤÁLEK, J. *Solving traveling salesman problem by heuristic algorithms.* In sborník: 18. konference o aplikované matematice (APLIMAT). Slovenská technická univerzita v Bratislavě, FS, ústav matematiky a fyziky, 2019. Bratislava, SR, 5. – 7. 2. 2019, (SCOPUS database), s. 679 – 684. ISBN 978-80-8208-006-6.

KOŠŤÁLEK, J., KOŤÁTKOVÁ STRÁNSKÁ, P. *Solving a deployment problem with restricted areas*. In sborník: 18. konference o aplikované matematice (APLIMAT). Slovenská technická univerzita v Bratislavě, FS, ústav matematiky a fyziky, 2019. Bratislava, SR, 5. – 7. 2. 2019, (SCOPUS database), s. 685 – 690. ISBN 978-80-8208-006-6.

KOŠŤÁLEK, J. *Využití heuristických algoritmů v řešení úlohy obchodního cestujícího*. In: Matematika, Informační Technologie a Aplikované Vědy – MITAV 2018. Brno, 14. – 15. 6. 2018. Jednota českých matematiků a fyziků (JČMF) a Univerzita obrany v Brně, fakulta vojenských technologií, s. 214 – 303. ISBN 978-80-7582-040-2.

KOŠŤÁLEK, J., KOŤÁTKOVÁ STRÁNSKÁ, P. *Modified Steiner-Weber problém with additional restrictive conditions.* Acta academica karviniensia - recenzovaný vědecký časopis Slezské univerzity v Opavě, Obchodně podnikatelské fakulty v Karviné. Časopis je indexován v databázích ERIH plus, Index Copernicus, Genamics JournalSeek a EBSCO. Časopis je evidován v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR. ISSN 1212-415X (Print). ISSN 2533-7610 (Online).

KOŠŤÁLEK, J. *Vázané extrémy v ekonomice a alternativní způsoby jejich hledání.* In sborník Trendy v podnikání – mezinárodní vědecká konference, ZČU, fakulta ekonomická, 15. – 16. 11. 2018. ISBN 978-80-261-0833-7.

KOŠŤÁLEK, J. O*kružní dopravní problém pohledem statistiky*. in: 8. International Masaryk conference for Ph.D. students and young researchers 2017. Hradec Králové, 18.12.2017 - 20.12.2017. Magnanimitas. 2017, S. 315 - 401. ISBN 978-80-87952-22-1.

SCHOLZ, P., FREIBERG, F., KOŠŤÁLEK, J. *Sequence of production orders optimisation, its benefits and implications* [online]. Grant Journal. 2016, 05(02), s. 66-71. ISSN 1805-0638. Dostupné z: http://www.grantjournal.com/index.php?option=com_content&view=article& id=34&Itemid=31&lang=cs

KOŠŤÁLEK, J., KAVAN, M., VANIŠ, L. *Okružní dopravní problém a možnosti jeho řešení*. In: International Masaryk Conference for Ph.D. Students and Young Researchers 2015.

Hradec Králové, 14.12.2015 - 18.12.2015. MAGNANIMITAS. 2015, s. 208-216. ISBN 978-80-87952-12-2. Dostupné z: http://www.masarykovakonference.cz

KOŠŤÁLEK, J. *Solution traveling salesman problem using heuristic algorithms*. In: MORAVEC, J., Studentská tvůrčí činnost 2015. 16.04.2015. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní. ISBN 978-80-01-05727-8. Dostupné z: http://stc.fs.cvut.cz/

KOŠŤÁLEK, J., KAVAN, M. *Problém optimálního umístění a způsoby jeho řešení v podnikové logistice* [online]. In: 7. mezinárodní vědecká konference doktorandů a mladých vědeckých pracovníků. Karviná, 07.11.2014. Opava: Slezská univerzita. 2014, s. 258-265. ISBN 978-80-7248-836-0.

KOŠŤÁLEK, J., KOŽÍŠEK, J., STIEBEROVÁ, B. *Aplikace speciálních metaheuristických metod na řešení okružního dopravního problému*. In: 5. mezinárodní Masarykova konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky. 15.12.2014 - 19.12.2014. Hradec Králové: MAGNANIMITAS. 2014, s. 259-268. ISBN 978-80-87952-07-8.

KAVAN, M., KOŠŤÁLEK, J. *Optimalizace pořadí pro zpracování zakázek ve strojírenské výrobě pomocí metodiky okružního dopravního problému* [online]. In: 15. mezinárodní konference: Integrované inženýrství v řízení průmyslových podniků. Brno, 30.09.2014. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní. 2014, s. 16-25. ISBN 978-80-01-05537-3.

KOŠŤÁLEK, J., REJF, L., a VANIŠ, L. *Limity lidského myšlení v rozhodovacích procesech spojených s podnikovým řízením* [online]. In: 15. mezinárodní konference*:* Integrované inženýrství v řízení průmyslových podniků. Brno, 30.09.2014. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta strojní. 2014, s. 26-32. ISBN 978-80-01-05537-3.

KOŠŤÁLEK, J. *Modern trends in logistics.* In: Conference Mekrúr 2013. Bratislava, 05.12.2013 - 06.12.2013. Bratislava: Ekonomická univerzita Bratislava. 2013, s. 193-199. ISBN 978-80-225-3764-3.

KOŠŤÁLEK, J. *Matematické algoritmy jako nástroje efektivního řízení procesů v podnicích*. In: VI. mezinárodní vědecká konference doktorandů a mladých vědeckých pracovníků. Karviná, 08.11.2013. Opava: Slezská univerzita. 2013, s. 174-181. ISBN 978-80-7248-901-5.

KAVAN, M., KOŠŤÁLEK, J. *Economic optimization of the mixing problem*. In: World Academy of Science, engineering and Technology. International Conference on Manufacturing Systems Engineering and Management. Toronto, 20.06.2013 - 21.06.2013. s. 2144-2149. ISSN 2010-376X.

KOŠŤÁLEK, J. *Program pro snadné řešení úlohy obchodního cestujícího s deseti body a jeho využití*. In: Trendy v podnikání. 14.11.2013 - 15.11.2013. Plzeň: ZČU, ISBN 978-80-261-0321-9.

KOŠŤÁLEK, J. *Logistické plánování tras jako intelektualizovaný proces* [online]. In: BERAN, T. a FINDOVÁ, Š., eds. 14. mezinárodní konference Integrované inženýrství v řízení průmyslových podniků. 08.10.2013. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní. 2013, s. 45-50. ISBN 978-80-01-05353-9.

Seznam nejdůležitější použité literatury v disertační práci:

APPLEGATE, D., L., BIXBY, R. E. The Traveling Salesman Problem: A Computational. 1. vyd. Princenton: Princeton series in applied mathematics, 2007. ISBN 978-0-691-12993-8.

БОЛЬШЕВ, Л. Н., СМИРНОВ, Н. В. Таблицы математической статистики. (Tabulky matematické statistiky) 3. vyd. Moskva: Nauka, hlavní redakce matematicko-fyzikální literatury, 1983. KB-21-53-83.

COOK, W., J. Po stopách obchodního cestujícího. Matematika na hranicích možností. 1. vyd. Praha: Dokořán, 2012. ISBN 978-80-7363-412-4.

CRILLY, T. Matematika 50 myšlenek, které musíte znát. 1. vyd. Praha: Slovart, 2010. ISBN 978-80-7391-409-7.

FLETCHER, A., CLARKE, G. Ekonomie a společnost, řízení a matematika. 1. vyd. Praha: Svoboda, 1968.

HINDLS, R. a kol. Statistika pro ekonomy. 8. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-43-6.

JABLONSKÝ, J. Programy pro matematické modelování. 1. vyd. Praha: VŠE - Oeconomica, 2007. ISBN 978-80-245-1178-8.

KUBANOVÁ, J. Statistické metody pro ekonomickou a technickou praxi. 2. vyd. Bratislava: Statis, 2004. ISBN 80-85659-37-9.

ZELINKA, I. a kol. Evoluční výpočetní techniky principy a aplikace. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-218-3.

https://www.businessinsider.com/p-vs-np-millennium-prize-problems-2014-9, [cit. 1. 4. 2017]

Anotace

Ve své disertační práci se zabývám optimalizací logistických tras pomocí matematických modelů. Schopnost vhodného plánování logistických tras je velmi důležitá z důvodu úspor nákladů i času. Tato problematika se vyskytuje v mnoha oborech lidské činnosti. Snažím se uvést a vysvětlit některé nové pohledy na řešení určitých problémů. Velkou pozornost ve své práci věnuji problému označovaném termínem: úloha obchodního cestujícího. Zde se mi podařilo vytvořit vlastní heuristickou metodu, vycházející z empirických poznatků, které jsem získal pozorováním a experimenty. Vysvětluji zde způsob jejího fungování, její experimentální ověření na konkrétních situací i kvantifikaci jejích parametrů pomocí statistických testů. Weber-Steinerův rozmisťovací problém se mi podařilo rozšířit o další omezující podmínky, popsat způsob nalezeného řešení i vytvořit a popsat model sestavený k jeho řešení. Ve své práci používám metody zejména z oblasti operační analýzy a statistiky. Hlavní snahou mé disertační práce bylo rozšířit dosavadní lidské poznání alespoň o malý krůček kupředu, proto se snažím demonstrovat vlastní metody, jiné způsoby výpočtů i jiné úhly pohledu na problematiku.

Summary

In my dissertation work I deal with the optimization of logistic routes using mathematical models. A well-planned logistics route saves costs and time. This problem occurs in many fields of human activity. I try to explain and explain some new perspectives on solving certain problems. In my work, I pay attention to the problem referred to as the Traveling Salesman Problem. Here I managed to create my own heuristic method based on the empirical knowledge I gained by observation and experimentation. I explain here how it works, its experimental verification on specific situations and the quantification of its

parameters using statistical tests. I succeeded in extending the Weber-Steiner's further constraining problem to other constraints. In my work I use methods especially in the field of operational analysis and statistics. The main aim of my dissertation was to extend the human knowledge so far, at least a small step forward, so I try to demonstrate my own methods, other ways of computing and other aspects of the problem.