RIEŠENIE VÝLUKOVÉHO GRAFIKONU VLAKOVEJ DOPRAVY NA JEDNOKOĽAJNOM TRAŤOVOM ÚSEKU

Ivana Drotárová *)

ABSTRAKT

V príspevku sú analyzované a porovnané viaceré prístupy k riešeniu úlohy vytvorenia výlukového grafikonu vlakovej dopravy na traťovom úseku medzi dvoma susednými uzlami železničnej siete.
Výlukový grafikon vlakovej dopravy predstavuje bezkonfliktný cestovný poriadok vlakov v železničnej sieti. Výsledný grafikon vlakovej dopravy musí spĺňať množstvo záväzných predpisov, aby bola dodržaná bezpečnosť prevádzky. Úspešné vytvorenie výlukového grafikonu vlakovej dopravy predstavuje NP ťažkú optimalizačnú úlohu. V príspevku sú analyzované a porovnané výsledky dosiahnuté exaktným algoritmom a heuristickou metódou kĺzavých permutácií pre riešenie úlohy vytvorenia výlukového grafikonu vlakovej dopravy pre časovo obmedzené traťové výluky na jednokoľajnej trati.
V závere príspevku sú prehľadne zhrnuté odporúčania pre podporu rozhodovania riadiacich pracovníkov pri organizácii dopravy v krízových situáciách, ktoré vznikajú pri výlukách traťových koľají v železničnej dopravnej prevádzke.

Kľúčové slová: Výlukový grafikon vlakovej dopravy, Traťové výluky na jednokoľajnom úseku, Systém na podporu rozhodovania

ABSTRACT

This article compares briefly constraint-based linear optimization and approximation algorithm of moving permutations for conflict single-track scheduling. One of the most recent trends in this technology is adaptation of methods and algorithms of linear programming and operation research in software applications and solvers like Xpress or GLPSOL.

Constraint Linear Programming (CLP) is a programming technology, that allow to solve hard combinatorial problems like planning, scheduling, placement, resource allocation and others.

The area of applications that can be solved by this technology covers a lot of industrial problems as well as transport problems. Because of this it is one of the

*) Ivana Drotárová, Ing., Ipesoft spol.s r.o., Bytčická 2, 010 01 Žilina, +421 904 342 802, drotarova@gmail.com

strong tools for decision support systems and for supply chain management too. It can bring significant savings by different and more effective use of existing sources in industrial and transportation companies.

Key words: Conflict Train Timetable, Single-track Conflicts, Decision Support System

1 VÝLUKOVÝ GRAFIKON VLAKOVEJ DOPRAVY

1.1 FORMULÁCIA PROBLÉMU

Pri úlohe tvorby výlukového grafikonu vlakovej dopravy sa hľadá bezkonfliktný cestovný poriadok vlakov v železničnej sieti. Výsledný grafikon vlakovej dopravy musí spĺňať množstvo záväzných predpisov, aby bola dodržaná bezpečnosť prevádzky.

Úspešné vytvorenie výlukového grafikonu vlakovej dopravy predstavuje NP ťažkú optimalizačnú úlohu. Úloha tvorby výlukového grafikonu vlakovej dopravy na traťovom úseku medzi dvoma susednými uzlami železničnej siete je formulovaná nasledovne: *Je daná množina spojov reprezentujúca platný cestovný poriadok vlakov na traťovom úseku medzi dvoma susednými uzlami. Je známa matica minimálnych časových odstupov medzi spojmi. Nekonfliktný grafikon vlakovej dopravy vznikne časovým posunom spojov, ktorý na jedinej pojazdnej koľaji dodržuje minimálny odstup vlakov. Hľadá sa prípustný grafikon vlakovej dopravy minimalizujúci ocenené meškania vlakov v cieľových uzloch.*

1.2 EXAKTNÁ METÓDA

Model celočíselného lineárneho programovania pre úlohu tvorby výlukového grafikonu vlakovej dopravy na jednokoľajnej trati môžeme formulovať nasledovne. Penalizačná konštanta nadobúda hodnotu $C_{ij} = d$ ak sú smery po sebe idúcich vlakov i a j opačné a hodnotu $C_{ij} = 0$ ak sú smery po sebe idúcich vlakov i a j rovnaké. Penalizačná konštanta P_i predstavuje penalizáciu za minútu meškania vlaku i. Množina N ($N=0,..,n$) predstavuje počet vlakov grafikonu. Vlak $i = 0$ predstavuje fiktívny vlak.

Bivalentná premenná $x_{ij} \in \{0, 1\}$ pre $i \in N$ a $j \in N$ modeluje rozhodnutie, ktoré nadobúda hodnotu $x_{ij} = 1$ ak po vlaku i nasleduje vlak j a hodnotu $x_{ij} = 0$ v opačnom prípade. Lineárny tvar účelovej funkcie a podmienok modelu umožňuje riešiť úlohu tvorby výlukového grafikonu metódami zmiešaného lineárneho programovania.

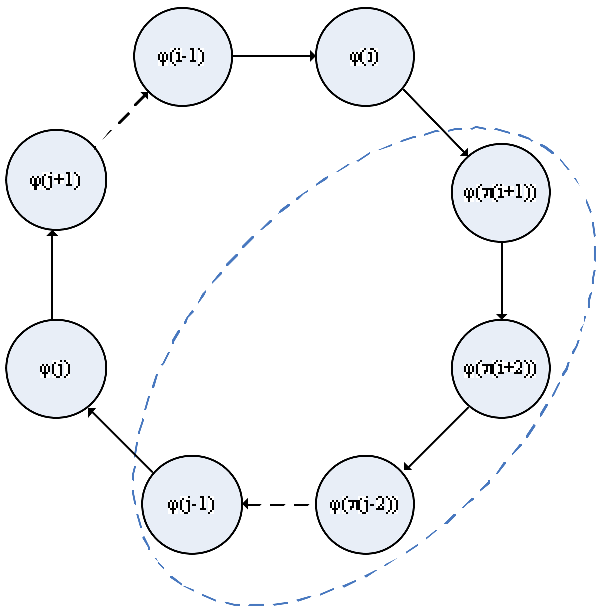
$$minimalizujte \quad \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{n} C_{ij} x_{ij} + \sum_{i=0}^{n} P_i t_i$$

Podmienky musia byť definované tak, aby zabezpečili jednoznačné priradenie poradia vlakov v grafikone, kde po vlaku i môže nasledovať práve jeden vlak j a pred vlakom j môže nasledovať práve jeden vlak i. Podmienky musia taktiež zabezpečiť dodržanie minimálnych medzidobí, ak po vlaku i nasleduje vlak j. Štrukturálne podmienky ďalej musia zabezpečiť, aby čas odchodu vlaku vo výlukovom grafikone bol väčší, nanajvýš rovný plánovanému času odchodu vlaku podľa platného grafikonu. Úloha predstavuje NP ťažkú optimalizačnú úlohu, ktorej exaktné riešenie je pre praktické úlohy väčšieho rozsahu nereálne.

1.3 METÓDA KĹZAVÝCH PERMUTÁCIÍ

Metóda kĺzavých permutácií patrí medzi heuristické metódy. Túto metódu môžeme zaradiť medzi dekompozičné metódy, ktoré využívajú pre riešenie úloh veľkých rozmerov ich dekompozíciu na podúlohy lineárneho programovania podstatne menších rozmerov. Metóda je založená na riešení dekomponovaných podúloh lineárneho programovania, ktoré vo vybraných maticiach obmedzení dávajú prípustné čiastočné riešenia pôvodnej úlohy.

Pre danú maticu ocenenia následnosti vlakov - C typu n x n a maticu penalizácie za meškania vlakov - P typu 1 x n sa hľadá najlacnejšia cyklická permutácia ϕ^* na množine N = $\{1,2,....,n\}$. Jedným z východiskových krokov metódy je hľadanie najlacnejšieho riešenia úlohy pre *ij – kĺzavú permutáciu cyklickej permutácie* φ. Dekomponovaná podúloha hľadá pre dané $\varphi \in \Phi(N)$ a indexy $i > 0, j > 0, 1 \le i < j \le n$ najlacnejšiu $\varphi_{\pi^*}^{ij}$ na množine N^{ij}.



Obrázok. 1 ij – kĺzavá permutácia cyklickej permutácie φ

Praktická úspešnosť dekompozičných metód závisí od spôsobu voľby podúloh. V prípade NP ťažkých úloh tvorby výlukového grafikonu vlakovej dopravy je dôležité navrhnúť rozsah podúloh tak, aby boli riešiteľné v polynomiálnom čase.

2 VÝSLEDKY A ICH ZHODNOTENIE

2.1 POPIS TESTOVANÝCH DÁT

Pre účel experimentov boli vytvorené testovacie úlohy rôznej veľkosti. V testovaných úlohách boli použité reálne dáta z grafikonu vlakovej dopravy pre stanice Žilina a Vrútky podľa informačného systému ŽSR - ZONA.

Rozsah testovacích úloh bol navrhnutý pre časovo obmedzené traťové výluky v trvaní od 0,5 hod. do 6 hod. Počet vlakov vstupujúcich do výlukového grafikonu vlakovej dopravy bol od 4 do 25 vlakov. Na uvedených sadách úloh bola experimentálne testovaná metóda celočíselného lineárneho programovania - EXM a dekompozičná metóda kĺzavých permutácií - MKP.

2.2 POROVNANIE EXAKTNEJ METÓDY A METÓDY KĹZAVÝCH PERMUTÁCIÍ

V tabuľke *Tabuľke 1* sa nachádzajú vybrané údaje o experimentoch. V stĺpci *Trvanie výluky[h]* sa nachádza údaj o časovom trvaní traťovej výluky. V stĺpci *Počet vlakov* je uvedený počet vlakov vstupujúcich do úlohy pre vytvorenie výlukového grafikonu vlakovej dopravy. V tabuľke sú zobrazené výsledky dosiahnuté metódou **EXM** – exaktná metóda, metódou kĺzavých permutácií pre vstupný parameter $m=5$ a $m=6$. V stĺpci *hodn.úč.fcie* sa nachádza hodnota účelovej funkcie dosiahnutá riešením úlohy príslušnou metódou a v stĺpci *Gap* percentuálne porovnanie týchto hodnôt s hodnotami účelovej funkcie vypočítanej exaktnou metódou. Hodnoty hodnotiaceho kritéria vypočítaného exaktnou metódou predstavujú dolnú hranicu riešenia.

Trvanie výluky [h]	*Počet vlakov*	**EXM**		**MKP pre m=5**			**MKP pre m=6**		
		hodn.úč. fcie	***čas[s]***	*hodn.úč. fcie*	*Gap[%]*	***čas[s]***	*hodn.úč. fcie*	*Gap[%]*	***čas[s]***
0,5	*4*	**1160**	0.02	1160	***0,00%***	0,0	1160	***0,00%***	0,0
1	*9*	**4530**	11.19	5470	***20,75%***	22,0	4970	***9,71%***	48,0
1,5	*12*	**7050**	224.28	7050	***0,00%***	23,0	7050	***0,00%***	56,0
2	*19*	**15120**	35369.67	16260	***7,54%***	53,0	15420	***1,98%***	169,0
2,5	*25*	**25340**	659236.21	25650	***1,22%***	134,0	25650	***1,22%***	261,0

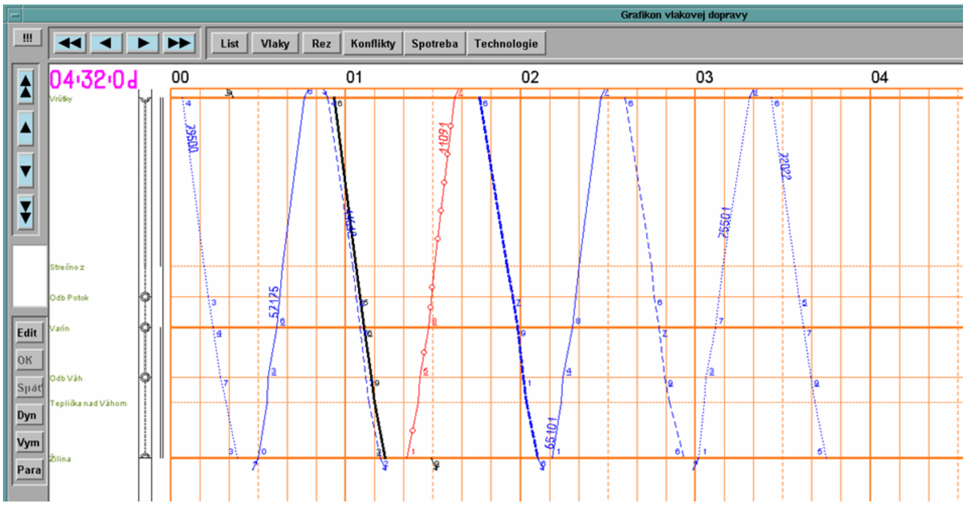
Tabuľka 1 Výsledky experimentov pre časovo obmedzené traťové výluky

Z prezentovaných výpočtových výsledkov v *Tabuľke 1* môžeme poukázať na nižšie hodnoty *Gap* pre metódu kĺzavých permutácií s prednastaveným parametrom $m=6$ v porovnaní s MKP pre $m=5$. Kvalitatívne lepšie výsledky približujúce sa dolnej hranici riešenia na úroveň od *0%* do *10%* sme dosiahli prednastavením parametra na $m=6$. Porovnaním časovej náročnosti výpočtov poukazuje MKP pre $m=6$ určitý nárast času v porovnaní s časom riešení MKP pre $m=5$.

2.3 GRAFICKÁ PREZENTÁCIA VÝSLEDKOV

Z prezentovaných výpočtových výsledkov môžeme graficky znázorniť interpretáciu úlohy a výsledkov vo forme grafikonu vlakovej dopravy. Uvedené grafické prezentácie vychádzajú z teoreticky stanovených hodnôt technologických časov preto nemusia zodpovedať reálnej prevádzke na železničnej trati.

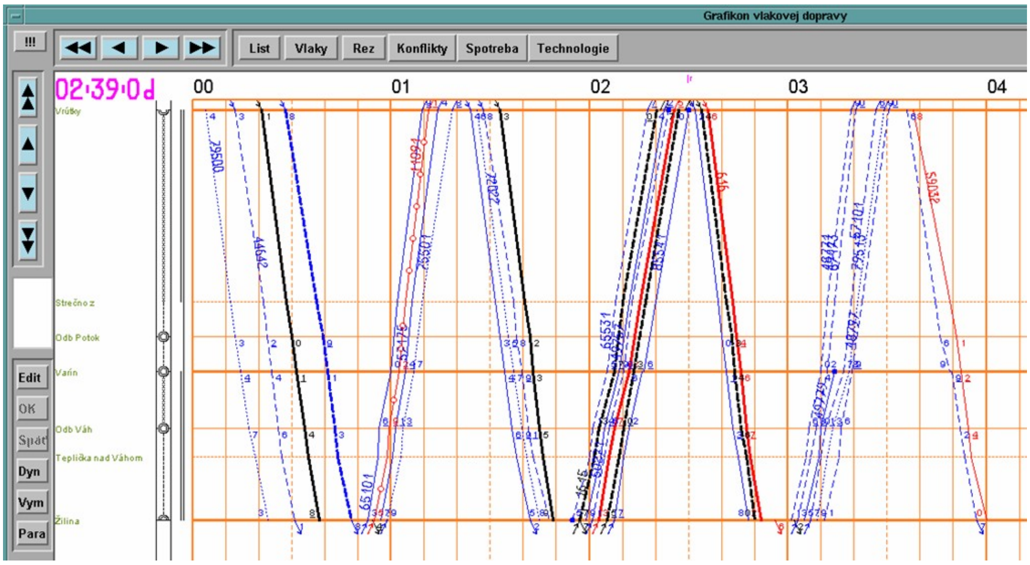
GVD zobrazený na *Obrázku 2* prezentuje ilustračný príklad stavu, ak by sa po výluke jednej traťovej koľaje medzi stanicami Žilina a Vrútky doprava riadila podľa pôvodného GVD. Ukážka výlukového GVD pred optimalizáciou je uvedená na *Obrázku 2*.



Obrázok 2 Výlukový grafikon vlakovej dopravy pre trať Žilina-Vrútky pred optimalizáciou v časovom reze v dĺžke 3 hod (Zdroj- IS ZONA)

V prípade, ak by sa prevádzka riadila pôvodným grafikonom, meškania vlakov by sa neúmerne zvyšovali a priepustnosť traťového úseku by bola veľmi nízka. Následné by došlo k zahlteniu priľahlých uzlov siete.

Výlukový grafikon vlakovej dopravy pre jednokoľajný traťový úsek na *Obrázku 3* prezentuje výsledky získané riešením úlohy pomocou metódy kĺzavých permutácií.



Obrázok 3 Výlukový grafikon vlakovej dopravy pre trať Žilina-Vrútky po preplánovaní pomocou metódy klzavých permutácií (Zdroj- IS ZONA)

Z prezentovaných grafických výstupov môžeme konštatovať podstatné zvýšenie priepustnosti jednokoľajového traťového úseku po preplánovaní GVD pomocou metódy kĺzavých permutácií v porovnaní so situáciou ak by sa doprava riadila podľa pôvodného GVD. Priepustnosťou úseku rozumieme maximálny počet kompletov, ktoré za časovú jednotku môžu prejsť zo začiatočného vrcholu do vnútra úseku.

2.4 ZHODNOTENIE EXPERIMENTOV A ODPORÚČANIA

Na základe analýzy dosiahnutých výsledkov môžeme odporučiť využitie dekompozičnej metódy kĺzavých permutácií na riešenie krízových situácií v železničnej dopravnej prevádzke pre časovo obmedzené traťové výluky. Presnosť metódy sa pre tento typ úloh pohybuje v rozmedzí *0-10%* od hodnôt exaktného riešenia.

LITERATÚRA

[1] CAIMI, G. (2009): Algorithmic decision support for train scheduling in a large and highly utilised railway network: Shaker Verlag, Zürich

[2] CENEK, P., KLIMA, V., JANÁČEK, J. (1994): Optimalizace dopravních a spojových systémů: VŠDS, Žilina

[3] PEŠKO, Š. (2002): Optimalizácia NP–tažkých dopravných rozvrhov: Habilitačná práca, ŽU, Žilina, str.120

[4] ŠOTEK, K., BACHRATÝ, H., RUŽBARSKÝ, J., TAVAČ, V. (2003): New real environment simulation models on railway network, Komunikácie / Communications 4/2003, ŽU, Žilina

Čánok recenzoval:
doc. Ing. Miroslav Tomek, PhD.