

ALGORITMUS VKLÁDÁNÍ TRAS DODATKOVÝCH VLAKŮ

ALGORITHM FOR INSERTION OF ADDITIONAL TRAINS

Karel Šotek, Hynek Bachratý¹

Anotace: Článek popisuje nový algoritmus na hledání a řešení konfliktních situací, které vznikají vkládáním dodatkových vlaků do platného grafikonu vlakové dopravy. Je to významný prvek při řešení kapacitních výpočtů v železniční dopravě.

Klíčová slova: Železniční doprava, jízdní řád, dodatkový vlak, konflikt, kapacita, algoritmus.

Summary: There is presented new algorithm for conflict-free insertion of utility trains to valid railway timetable in this article. We expect to use this algorithm mainly for calculation of railway track capacity and for relevant analyses of railway lines.

Key words: Railway transport, simulation model, timetable, algorithm, conflict.

1. ÚVOD

Hlavním cílem algoritmu je postupné vkládání dalších vlaků do hotového a připraveného grafikonu. Trasa těchto nových vlaků se vloží tak, aby nedošlo ke konfliktům s naplánovanou dopravou a současně nedošlo k nadměrnému nárůstu jízdní doby vložených vlaků. Prvním krokem je výběr vzorových vlaků, jejichž kopie se mají vkládat jak dodatkové vlaky. Předpokládá se využití existujících vlaků GVD, z nichž si může uživatel vybírat.

2. POPIS ALGORITMU

System SENA uživateli poskytuje široké možnosti i pro použití dalších, v systému dovolených vlaků. Jedná se třeba o typové vlaky, studijní vlaky a pod. Prostřednictvím vzorového vlaku zadáme dodatkovému vlaku všechny jeho potřebné parametry (hnací vozidla, soupravu,..), jeho trasu, použité koleje a jízdní doby. Tyto údaje lze zvolit modifikovaně při přípravě vzorových vlaků. Příprava má tyto kroky:

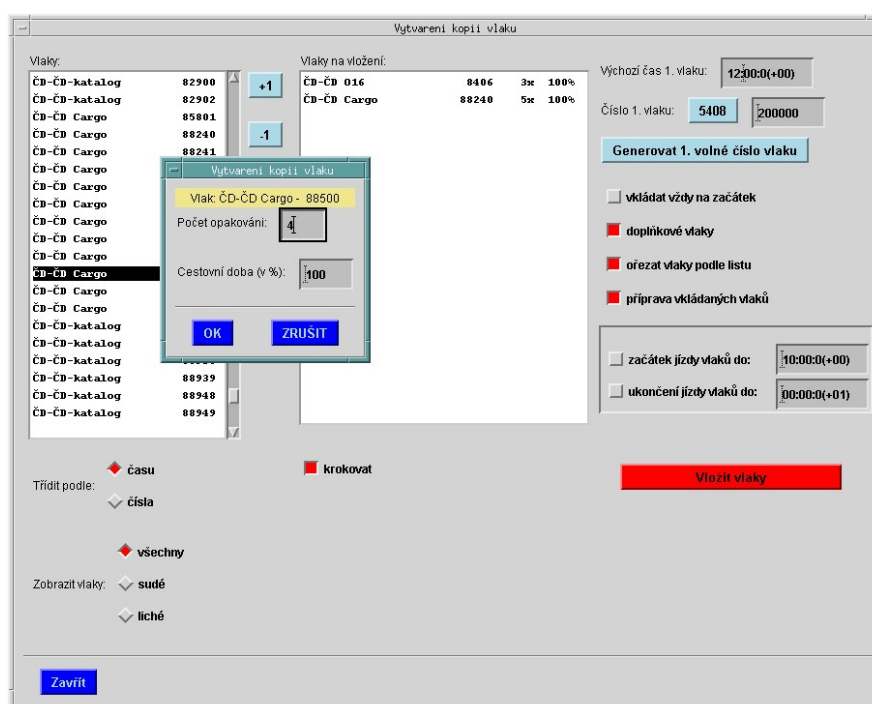
- **Ořezání trasy vlaků na rozsah aktuálně používaného listu GVD.** Vkládání dodatkových vlaků většinou probíhá na uživatelem navržené trati resp. listu GVD a není proto třeba sledovat trasu vlaku mimo zadaný rozsah.
- **Nastavení minimálních pobytů vlaku.** Cílem je zejména odstranění a případná změna na průjezd těch pobytů, které vznikly z dopravních důvodů. Třeba při křížování vlaků na

¹ prof. Ing. Karel Šotek, CSc., Katedra softverových technologií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice, e-mail: karel.sotek@upce.cz

RNDr. Hynek Bachratý, Ph.D., Katedra softwarových technologií, Fakulta riadenia a informatiky, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, e-mail: hynek.bachraty@fri.uniza.sk

jednokolejných tratích. Korekce pobytů na jejich minimální hodnotu průběžně probíhá i po dobu vkládání vlaků popsaného dále.

- **Oprava nesprávně použitých traťových kolejí.** Data IS SENA obsahují informaci o doporučené traťové koleji pro daný směr jízdy. Tato kolej je zapracována do dat vlaku, pokud z nějakých důvodů (výluka, možnost souběžné jízdy) nebyla ve vzorovém vlaku uplatněná.
- **Optimalizace použitých průjezdů a staničních kolejí.** Použité dopravní cesty vzorového vlaku jsou ovlivněny dopravní situací v době jeho jízdy, která mohla být způsobena jeho vedením po kolejích vzdálenějších od hlavní koleje. Při přípravě vlaku jsou tyto koleje změněny (podle rychlostních omezení) na nejrychlejší přípustné koleje případně vlakové cesty v jednotlivých stanicích.
- **Přepočítání JD.** Výše uvedené změny v datech vlaku vyžadují přepočítání jízdních dob vlaku, protože stávající už nemusí odpovídat jeho modifikované vlakové cestě.



Obr. 1 - Okno algoritmu vkládání vlaků

Připravené vzorové vlaky jsou současně doplněny o údaj, jaké procento překročení jízdní doby vloženého dodatkového vlaku budeme akceptovat a počet opakovaných vložení tohoto vlaku. Postupným zadáním vzorových vlaků uživatel může zadat celou sekvenci vložených dodatkových vlaků, a tak může zabezpečit střídavé vložení osobních a nákladních vlaků.

Uživatel dále upřesní některé další parametry vložení dodatkových vlaků, jako např. standardní nebo zvolenou sadu řešených konfliktů, dobu vložení prvního vlaku a interval vložení všech vlaků atd. Může také zvolit (hlavně pro potřebu detailního sledování algoritmu) krokovací režim práce, když je oknem informován o každém vyřešeném konfliktu a může rozhodnout o pokračování nebo přerušení algoritmu.

Po nastavení parametrů se spustí vlastní proces vložení. Jeho podstatou je postupné vkládání jednotlivých dodatkových vlaků do určených časových poloh. Trasa každého vlaku je nejdříve vložena do grafikonu tak, jak je připravena ve vzorovém vlaku. Takto samozřejmě dojde ke vzniku více konfliktních situací. Tyto konflikty jsou postupně odstraňovány pomocí přizpůsobené a upravené varianty simulačního algoritmu IS SENA. Jeho hlavním principem je cyklické vyhledávání konfliktů dopravy, určení prioritního konfliktu a jeho vyřešení změnou trasování příslušného vlaku. Nedochozí přitom k testování, jaké následující konflikty tato změna způsobí. Algoritmus je tak do určité míry heuristický a jeho výkonnost a výsledky do značné míry souvisí s „doladěním“ prioritních funkcí pro určení řešeného konfliktu a měněného vlaku. Simulace do značné míry odpovídá procesu řízení dopravy na základě průběžné analýzy výhledové (konfliktní) dopravní situace respektive dopravního plánu. Z povahy IS SENA, ale i z pravidel organizace železniční dopravy vyplývá, že tato činnost je do značné míry podobná procesu postupné tvorby korektního GVD.

Pro potřeby vložení dodatkových vlaků má simulační algoritmus některé specifické vlastnosti, které ho zjednodušují a urychlují:

- **Vyhledávají a řeší se pouze konflikty vložení dodatkového vlaku.** Může se jednat buď o konflikt vlaku s infrastrukturou (vhodná kolej, elektrifikace, výluky a pod.) nebo konflikty dodatkového vlaku s vlakem původního grafikonu (intervaly, následné mezidobí, současné obsazení koleje). Původní GVD považujeme za bezkonfliktní (a uživatel si ho může jako takový přichystat), konflikty jeho vlaků proto ignorujeme, nedochází k jejich vyhledávání a řešení.
- **Všechny konflikty se řeší změnou trasy dodatkového vlaku.** V souladu s dohodnutou metodikou je potlačena funkce určující vlak s menší prioritou (který je při řešení konfliktu změněný), a bez ohledu na druh vlaku a další parametry je upravován pouze dodatkový vlak. Při řešení konfliktů tak nedochází k narušení původního GVD. V rámci simulace proto nedochází k potřebě zásadních změn organizace dopravy a trasování vlaků.
- **Řeší se vždy časově první z nalezených konfliktů.** V návaznosti na předchozí bod je rovněž možno potlačit prioritní funkci, určující který z nalezených konfliktů bude řešený. Při všeobecné simulaci jsou prioritní typy konfliktů, a až následně jejich čas. I při tomto postupu způsob řešení některých konfliktů vyžaduje návrat simulace zpět v čase.
- **Hledání některých konfliktů a jejich řešení není třeba dokončit.** Při běžném vyhledávání jednotlivých konfliktů je ke každému z nich současně nalezen a zapsán do dat způsob jeho řešení. To umožňuje uživateli i jeho manuální řešení a má význam pro standardní simulaci, i když je předem těžké určit, který konflikt bude jako prioritní nakonec řešený. Při určování priority konfliktů podle časového kritéria je ale možný efektivnější postup. Algoritmus si pamatuje dobu (průběžně) prvního z doposud nalezených konfliktů. Pokud je při dalším hledání konfliktů možno předem stanovit (potenciální) dobu jeho vzniku. Ta je větší jako dosavadní minimální doba, další identifikaci konfliktu a případné hledání jeho řešení lze přerušit a ukončit.
- **Omezení doby simulace procentem prodloužení doby jízdy.** Pro každý vkládaný dodatkový vlak známe doby jízdy jeho vzoru a akceptované procento jeho překročení.

Pokud po dobu řešení konfliktů jeho jízdní doby prodloužíme nad tuto hranici, lze simulaci přerušit.

Po ukončení vložení dodatkového vlaku je testováno dodržení povoleného procenta překročení doby jízdy. Na základě testu je nebo není doplněn do GVD a algoritmus pokračuje vkládáním dalšího dodatkového vlaku podle zadané sekvence vzorových vlaků.

Základem algoritmu vkládání dodatkových vlaků a simulací všeobecně je identifikace jednotlivých konfliktů, vyhledání způsobu jejich řešení a jeho realizace změnou trasování vlaku. Postupně došlo k značné modifikaci a dalšímu vývoji některých algoritmů a jejich částí. Byla upravená struktura a organizace jednotlivých vyhledávaných konfliktů.

K nejdůležitějším změnám patří:

- **Využívání kritéria traťové rychlosti dopravní cesty.** Při potřebě vyhledání nové dopravní cesty vlaku ve stanici, často dochází k situaci, když je nutné zvolit některou z více přípustných možností. V tomto případě se jako kritérium používá jako limitující konstrukční traťová rychlost dopravní cesty. Podle typu vlaku jsou uvažované rychlostníky. Nedochozí k zapracování pomalých jízd, omezení na základě návěštních předpisů a pod., jakož i omezení rychlosti z parametrů vlaku. Cílem je totiž optimalizovat dopravní cestu spíše ze stavebního, než dopravního hlediska. Toto kritérium je značně využíváno při hledání více typů konfliktů.
- **Využití topologie stanice při vyhledávání variantní dopravní cesty.** Pokud jízda vlaku po zadané koleji způsobuje konflikt (buď pro nevhodné parametry koleje nebo pro kolizi s jízdou jiného vlaku), je třeba určit novou dopravní cestu vlaku. Tato úloha se stává obzvláště složitou v případě složitějších stanic, když vlak používá pro průjezd více staničních kolejí. V těchto situacích nyní algoritmus vyhledává vhodné koleje ve třech navazujících cyklech. V prvním se snaží zachovat původní dopravní cestu a hledá se volná kolej pouze na úrovni konfliktní koleje. Pokud tedy např. na cestě *1a*, *1b*, *1c* je konfliktní kolej *1b*, testují se řešení typu *1a*, *3b*, *1c*. Jako náhrada za kolej *1b* se testují pouze koleje, jejichž kilometrická poloha má neprázdný průnik s kilometrickou polohou konfliktní koleje. Využívá se při tom skutečnost, že kilometrické polohy kolejových objektů stanic jsou zadávány jednotně (i v případě spojení více tratí) podle jejich průmětu na hlavní osu stanice. V druhém cyklu jsou opět testovány pouze koleje na úrovni konfliktní koleje. Jsou ale doplňované na optimální cestu bez ohledu na původní datum jízdy vlaku. Tímto způsobem lze najít na př. řešení *3a*, *3b*, *3c*. V posledním cyklu se naopak testují koleje (doplněné na optimální dopravní cestu) s prázdným kilometrickým průnikem. Tímto se kompletuje hledání a otestují se řešení v topologicky odlišné části stanice.
- **Sledování a využití časového údaje uvolnění přípustné koleje.** Při hledání dopravní cesty výše uvedeným způsobem se především zjišťuje, zda řešení vyhovují parametrům vlaku. Testuje se délka kolejí, nástupiště, peronizace koleje, trakce atd. Když je z toho pohledu kolej vhodná, sleduje se (i pro ostatní dopravní cesty) zda není v požadované době obsazena jinými vlaky. Novým prvkem je, že v případě obsazení koleje se ukládá hodnota doby, kdy se kolej uvolní. Pokud tedy algoritmus zjistí, že všechny přípustné koleje jsou v požadované době obsazeny, je k dispozici informace o době, kdy dojde

k uvolnění první z nich. Konflikt je následně řešen zastavením vlaku na potřebnou dobu v předcházející stanici.

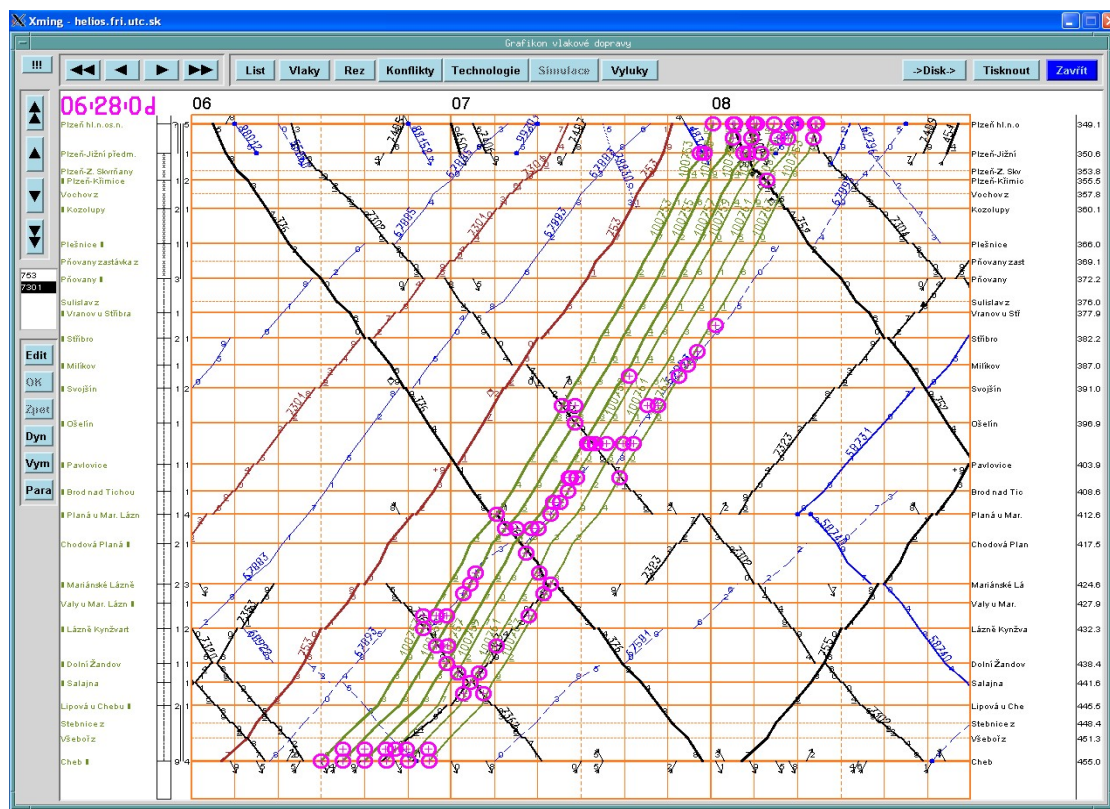
Při inovaci řešících algoritmů týkajících se vyhledávání vhodných staničních kolejí je hlavní důraz kladený na stavební a topologické vlastnosti kolejiště stanice.

- **Nový konflikt identifikace průjezdu a jeho řešení.** Údaje o průjezdech (které popisují jízdu vlaku po zhlavích) obsahují informaci, zda jsou určeny pro jízdu osobních nebo nákladních vlaků a také pro vlaky zastavující nebo projíždějící. Nový konflikt identifikace přechodu kontroluje dodržování tohoto parametru v jízdě vlaku. Pokud nastal konflikt, podle dohodnuté metodiky jeho řešení probíhá ve třech krocích. Nejdříve se pro příslušné koleje hledá možnost jízdy po variantních přechodech s vyhovující identifikací. Potom se zkoumá možnost dodržení identifikace zastavením vlaku. Poslední možností je změna použitých staničních kolejí.
- **Zvýšení efektivity vyhledávání vhodné stanice zastavení vlaku.** Častou metodou řešení konfliktu ve stanici nebo na úseku je zastavení vlaku ve vhodném předcházejícím dopravním bodu trasy vlaku. Zde vlak prodloužením pobytu čeká na uvolnění koleje, zhlaví, dodržení intervalu a pod. Původně se při hledání bodu pro zastavení vlaku kontroloval pouze jeho vhodný typ (stanice, vlečka a pod.). Tento test byl doplněný o kontrolu existence vhodné staniční dopravní koleje, jejichž parametry (délka, trakce, peronizace) odpovídají parametrům vlaku. Pokud taková kolej neexistuje, algoritmus rekurzivně testuje další body zpět po trase vlaku.
- **Rozšířené uplatnění metody zastavení vlaku v předcházející stanici.** Vzhledem na dříve uvedené inovace byla metoda zastavení vlaku v předcházejícím dopravním bodu trasy vlaku doplněna jako primární nebo sekundární metoda řešení dalších typů konfliktů.
- **Zdokonalení algoritmu vyhledávání traťové koleje.** Při řešení konfliktů metodou změny traťové koleje je přísněji a detailněji kontrolována její vhodnost připojení na dopravní cestu v sousedních stanicích.

Uvedené změny zásadně zvýšily rychlost a efektivnost řešení konfliktních situací. Snížil se počet sekundárně vyvolaných konfliktů způsobených řešením jednotlivých konfliktů. Časové kritérium výběru prioritního konfliktu podporuje postupnou úpravu trasy vlaku v pořadí jeho jízdy. V případě potřeby je ale simulační smyčka schopná návratu v čase nebo v trase vlaku.

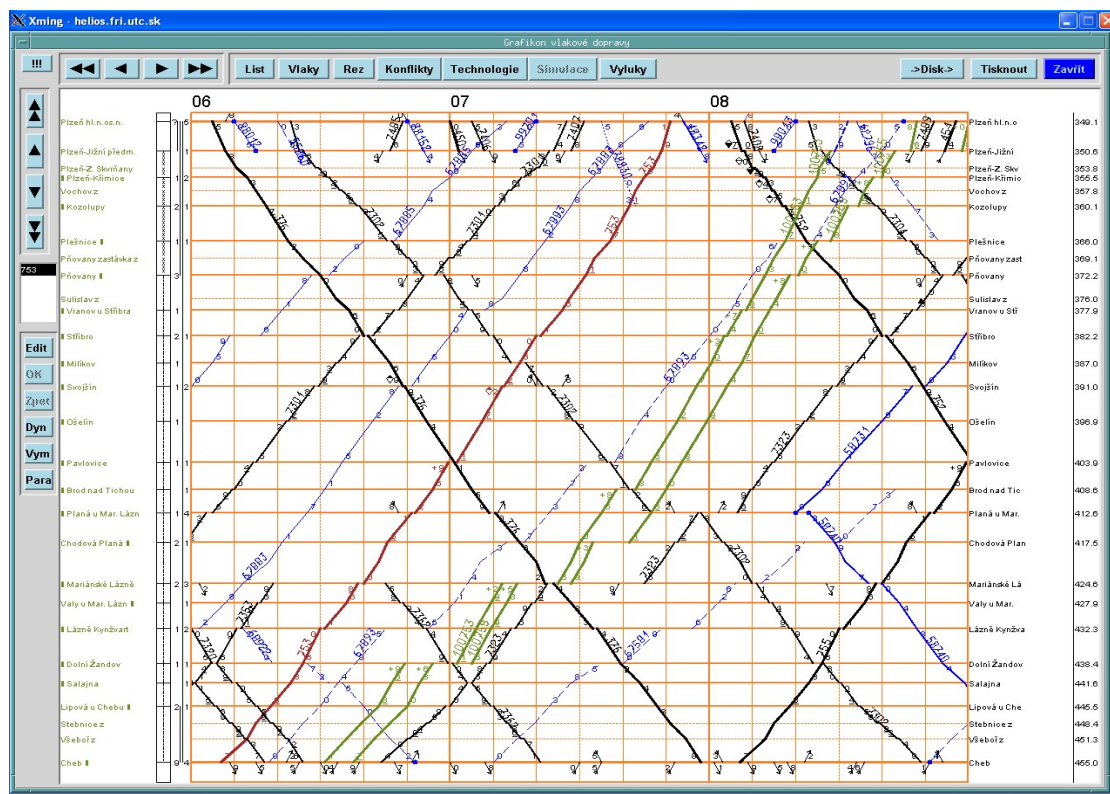
Zde ilustrujeme některé možnosti algoritmů.

Na Obr. 2 je ukázka, jak algoritmus umožňuje vložení sekvence dodatkových vlaků i bez řešení konfliktů. Ty jsou pouze nalezeny a identifikovány. Uživatel je může odstranit později uplatněním jiných nástrojů IS SENA.

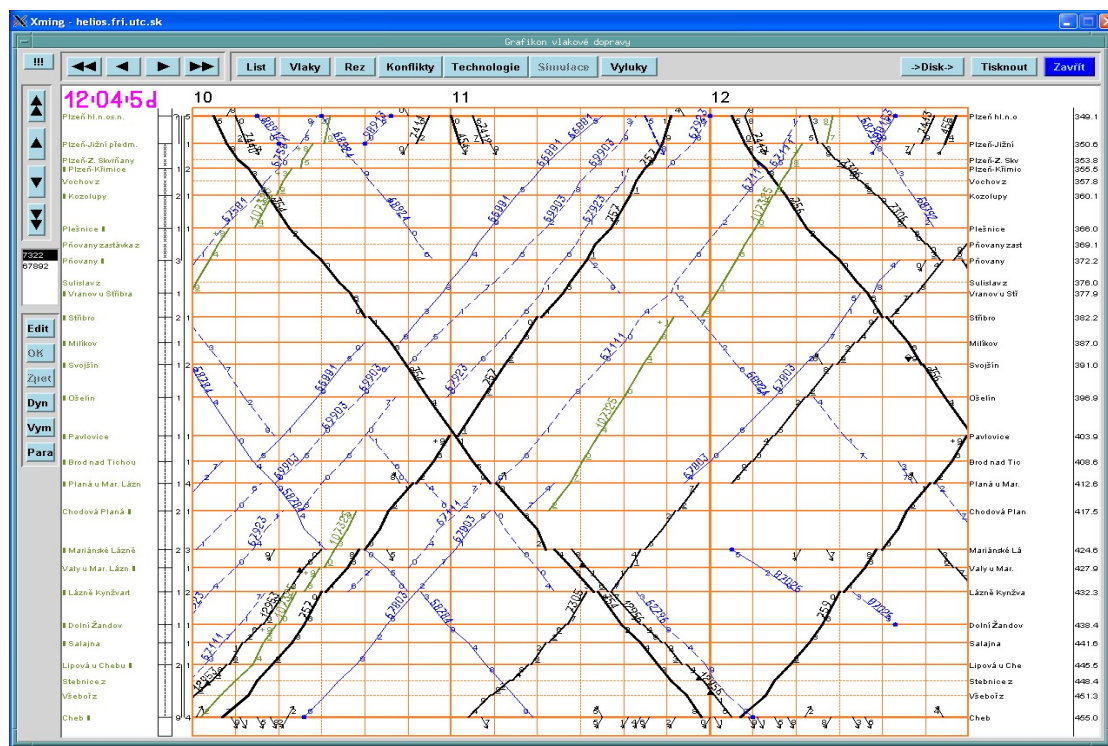


Obr. 2 - Vložení dodatkových vlaků bez řešení konfliktů

Na následujícím obrázku (Obr. 3) algoritmus vložil prvé dva vlaky předcházející sekvence s vyřešením všech konfliktních situací.

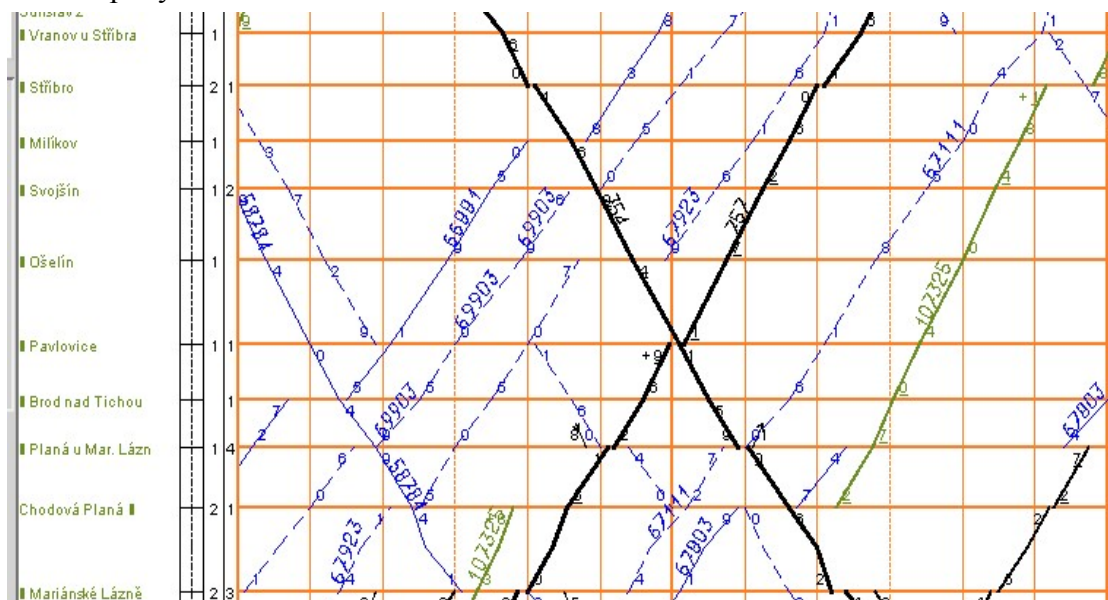


Obr. 3 - Vložení vlaků s řešením konfliktů



Obr. 4 - Vložení dodatkových vlaků v dopravní špičce s řešením konfliktů

Na Obr. 5 je situace s vložením vlaků a následným řešením situace. Je vidět, že algoritmus prodloužil pobyt vlaku potřebný na vykřižování protijedoucích vlaků a respektoval dodržení následu při vjezdu do Stříbra ve stanici Chodová Planá. Vlak byl schopný bezkonfliktní jízdy i do následující stanice, v ní ale nebyly k dispozici vhodné koleje pro realizování pobytu.



Obr. 5 - Vložení dodatkového vlaku s čekáním ve vhodné stanici

3. ZÁVĚR

Článek představuje možnost hledání a řešení konfliktních situací, které vznikají vkládáním dodatkových vlaků do platného grafikonu vlakové dopravy, pomocí nového algoritmu. Tento algoritmus významně přispívá k lepšímu řešení kapacitních výpočtů v železniční dopravě.

Príspevek vznikl za podpory Institucionálního výzkumu MSM 0021627505 „Teorie dopravních systémů“ Univerzity Pardubice.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ŠOTEK K., BACHRATÝ H. *Nové možnosti simulačních modelů reálného prostředí v železniční dopravě*, příspěvek do zborníka II konference Teorie dopravních systémů, 17. Január 2007, Pardubice, vydala DPJF Univerzita Pardubice, str. 9-18, ISBN 978-80-7194-927-5.
- [2] AMCHA, R., BACHRATÝ, H., KRÝŽE, P., VESELÝ, P. *Príspevek k problematice dodatkových vlaků v prostředí IS SENA*. Příspěvek do zborníka konference DOPRAVNÍ SYSTÉMY 2005, 29. november 2005, Pardubice, vydala DPJF Univerzita Pardubice, str. 331-338, ISBN 80-7194-805-5.
- [3] BLAHO, P., GAŠPARÍK, J. *Some aspects of enterprise access to infrastructure of Slovak Republic railways (ŽSR)*. In: Transport XXI wieku, międzynarodná vedecká konferencia, Stare Jablonki, 18.-21.9.2007, Politechnika Warszawska, 2007, s. 91-96, ISBN 978-83-7204-618-5.
- [4] ZÁHOROVÁ V. *Určení nástupištní koleje pro zpožděný přijíždějící vlak pomocí fuzzy regulátoru*, In sborník příspěvků konference Inteligentní systémy pro praxi: XI ročník konference, Bohdaneč, 30.-31. ledna 2008, Ostrava:AD&M konferenční servis, 2008, str. 103-108, ISBN 978-80-7399-354-2.

Recenzent: Mgr. Ing. Lubomír Sadloň, PhD.
Žilinská univerzita, FRI, Katedra softvérových technologií