

KOREKCE MAXIMÁLNÍ DOSAHOVANÉ RYCHLOSTI NÁKLADNÍCH VLAKŮ

CORRECTIONS OF MAXIMUM SPEED ACHIEVED BY FREIGHT TRAINS

Tomáš Vicherek¹

Anotace: Článek pojednává o metodě průběžných korekcí maximální dosahované rychlosti vlaky jedoucími v Základní simulaci modulu dopravní inteligence pro automatické stavění vlakových cest.

Klíčová slova: automatické stavění vlakových cest, událostmi aktualizovaná simulace.

Summary: Article deals with method of continuous corrections of maximum speed achieved by trains in Base simulation, part of traffic intelligence module for automatic train route setting.

Key words: automatic train route setting, event-updated simulation.

ÚVOD

Pro moderní automatizaci řízení železniční dopravy je potřeba kvalitní modul dopravní inteligence. Ten v reálném čase podrobně simuluje jízdu vlaků v řízené oblasti a v případě změny dopravní situace vypočítává jízdní řád pro vlaky vyskytnuvší se na trati v příštích desítkách minut (1). Trasy takto vzniklého jízdního řádu mohou po vyřešení konfliktů sloužit například pro automatické stavění vlakových cest (2) či navádění vlaků do bezkonfliktních tras (3).

Při řešení dopravní situace musí počítač rozhodnout, kde se vlaky budou předjíždět či křížovat. Zvláště důležitá je v této situaci co nejpřesnější předpověď pohybu vlaků. Ta vychází z jejich fyzikálních vlastností, přičemž maximální rychlost nesmí být vyšší než „stanovená“ dle jízdního řádu (V_s). V současnosti jsou v informačních systémech správce infrastruktury k dispozici jen údaje o stanovené rychlosti pro celé období platnosti JŘ. V datové podobě tak chybí její případná snížení, například:

- „dnešní“ stanovená rychlost vlaku z důvodu:
 - odlišného řazení vlaku (pomalejší hnací vozidlo či vůz, nedostatečné obrzdění),
 - mimořádné zásilky,
- snížená rychlost na zhlaví při jízdě jiným než přímým směrem (mimořádná zásilka).

Dalšími důvody, proč vlak, ačkoli to jeho fyzikální parametry a dopravní situace umožňují, nedosahuje stanovené rychlosti, mohou být například následující:

- zhoršená funkce hnacího vozidla (např. nevyužívání nejvyšších jízdních stupňů),

¹ Ing. Tomáš Vicherek, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra Technologie a řízení dopravy, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Tel.: +420 736 139 653, email: TomVich@email.cz

- špatné povětrnostní podmínky,
- jízdní strategie strojvedoucího.

Jelikož stanovená rychlost nesmí být překročena, vedou všechny uvedené případy k jízdě vlaku rychlostí nižší než stanovenou.

Přesné informace o maximální rychlosti dosahované vlakem zatím často nejsou modulu dopravní inteligence k dispozici. Smyslem tohoto článku je představení metody pro průběžné odhadování a korigování maximální dosahované rychlosti jízdou vlaku. Tato metoda slouží k překlenutí nedostatku aktuálních informací do doby, než budou v datové podobě k dispozici.

1. METODA ZKOUMÁNÍ JÍZDY VLAKŮ

Zkoumán byl provoz na trati Ostrava-Svinov(mimo) – Hranice na Moravě(mimo) – (Přerov) v období od středy 8. 6. 2011 15:00 do pátku 10. 6. 2011 8:00, tedy období s nejvyšší intenzitou nákladní dopravy. Pro určení rychlostí vlaků bylo využito archivů zabezpečovacího zařízení². V těchto archivech jsou mimo jiné informace o časech obsazení / uvolnění jednotlivých kolejových úseků (KÚ). Při znalosti délky KÚ a délek vlaků lze průběžně vypočítávat „díličí rychlosti“ vlaku.

Výhodou tohoto přístupu je možnost zohlednění vlivu dopravní situace při zkoumání chování vlaků v Základní simulaci modulu dopravní inteligence – vlak je „považován za jedoucí maximální rychlostí“ pouze pokud:

- rychlost vlaku není omezena:
 - traťovou rychlostí,
 - pomalou jízdou,
 - rychlostí vlakové cesty,
- vlaku byla zavčasu postavena vlaková cesta,
- od posledního začátku rozjezdu vlak ujel nejméně 2 000 m,
- vlak dosahuje nejméně $\frac{3}{4}$ své stanovené rychlosti, ne méně než $V_s - 20$ km/h.

V důsledku aplikace uvedených podmínek se délka zkoumaných úseků snížila na třetinu – z 7 554 vlkm na 2 505 vlkm. Pro účely tohoto článku nebyly zahrnuty vlaky osobní dopravy, celkově bylo počítáno se 193 vlaky.

2. SITUACE BEZ KOREKČÍ MAXIMÁLNÍ DOSAHOVANÉ RYCHLOSTI

Základní otázka zní: O kolik km/h jede nákladní vlak pomaleji, než odpovídá stanovené rychlosti?

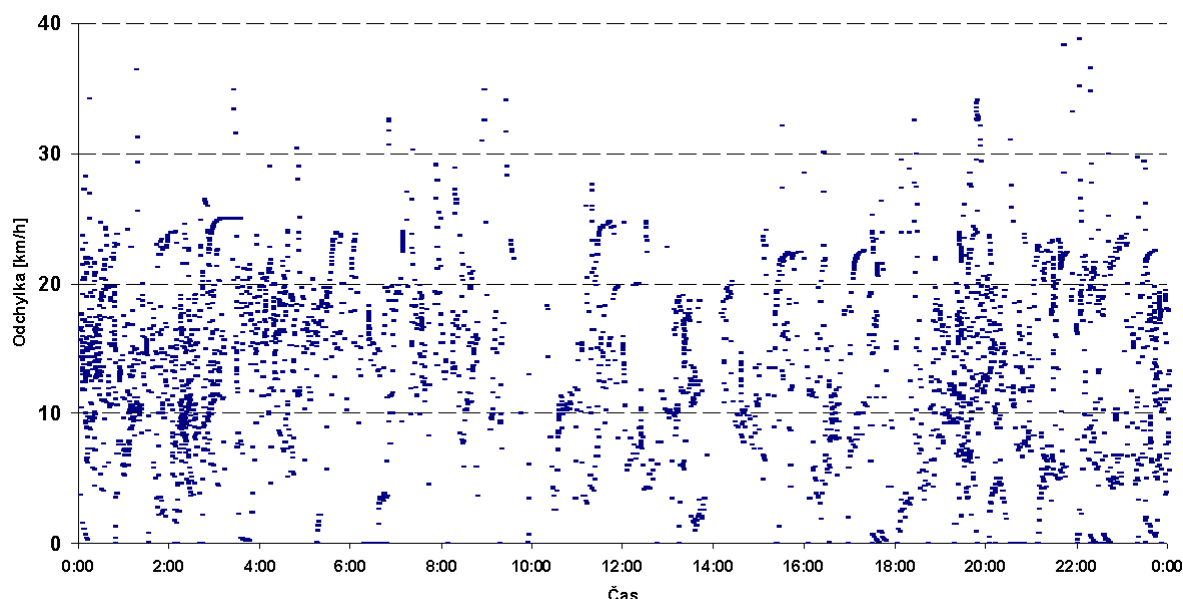
V úsecích, v nichž je vlak považován za jedoucí maximální rychlostí, byla zjišťována odchylka stanovené rychlosti od rychlosti vypočtené na základě jízdy vlaku dle archivů

² Vypočítávání rychlosti vlaků na základě obsazování / uvolňování KÚ bylo použito, neboť:

- jen minimum vlaků je vybaveno přijímačem GPS,
- průběžný přenos informací o vlaku prostřednictvím Position reportů ETCS nyní není k dispozici
- získání rychloměrných proužků ze všech potřebných vlaků je rovněž problematické.

stavědel. Byly tak vyhodnoceny odchylky z celkem 6 904 úseků, viz zdroj: autor dle modulu dopravní inteligence a archivů zabezpečovacího zařízení

obr. 1.

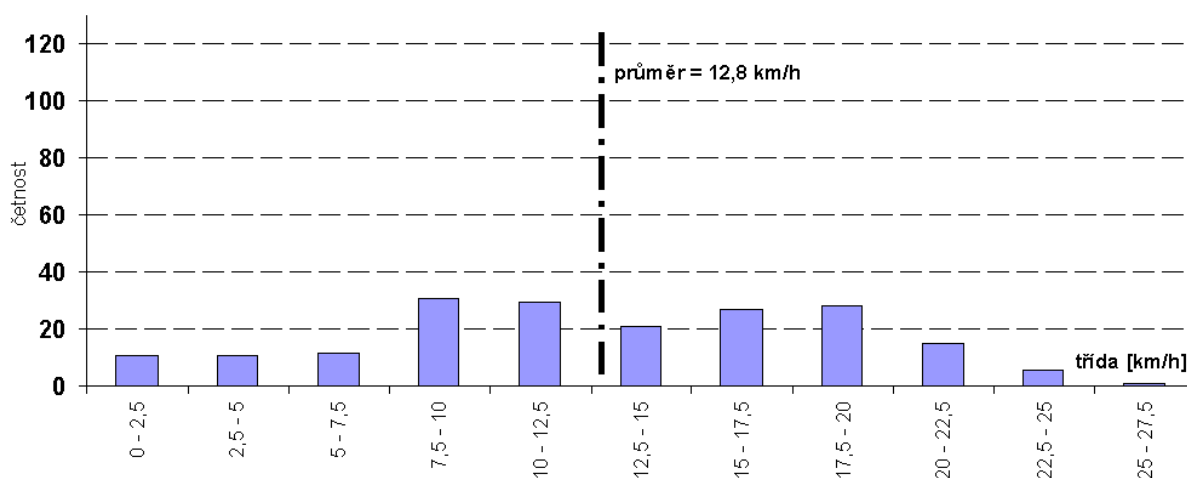


Zdroj: Autor dle modulu dopravní inteligence a archivů zabezpečovacího zařízení

Obr. 1 – Odchylky dílčí rychlosti od stanovené na úsecích, v nichž je vlak považován za jedoucí maximální rychlostí, pro všechny vlaky v závislosti na denní době.

Vlaky jely v průměru o 12,8 km/h pomaleji, než činí stanovená rychlost. Při výpočtu byla váha úseku úměrná jeho délce. Po přiřazení průměrných odchylek vlaků do tříd po 2,5 km/h lze z histogramu na zdroj: autor dle modulu dopravní inteligence a archivů zabezpečovacího zařízení

obr. 2 rozeznat jejich relativně velké variační rozpětí.



Zdroj: Autor dle modulu dopravní inteligence a archivů zabezpečovacího zařízení

Obr. 2 – Histogram četností odchylek dílčí rychlosti od stanovené rychlosti.

Byl prokázán statisticky významný vztah mezi odchylkou a hmotností vlaků. Koeficient korelace souborů činí 0,45, což vysoce překračuje kritickou hodnotu 0,11. Průměrná hmotnost vlaku činila 889 tun.

Kdyby modul dopravní inteligence u pomalejšího vlaku jedoucího před rychlejším vlakem uvažoval, že pomalejší vlak pojedou stanovenou rychlostí, docházelo by k příliš pozdnímu předjetí pomalejšího vlaku – rychlejší vlak by dojel pomalejší již na trati a několik kilometrů popojížděl za ním. Rovněž při křižování protisměrných vlaků by docházelo k chybnému křižování a tedy zbytečnému zpoždění.

Při snaze o snížení odchylek by kvůli velkému variačnímu rozpětí nebylo vhodné paušálně snížit maximální dosahovanou rychlost vlaků o 12,8 km/h, je nutné uplatnit individuální přístup pro každý vlak.

Inspirací při řešení problému byl verbální model vyřčený dispečery dálkově řídicími ucelené traťové úseky: „Podle prvních dvou stanic zjistím, jak jede, a podle toho mu stavím.“

3. KOREKCE MAXIMÁLNÍ DOSAHOVANÉ RYCHLOSTI JÍZDOU VLAKU

Maximální dosahovaná rychlost (V_{md}) je proměnná veličina vlaku v modulu dopravní inteligence reprezentující „více vypovídající“ stanovenou rychlost vlaku.

Na začátku je maximální dosahovaná rychlost shodná se stanovenou rychlostí. V kolejových úsecích, v nichž je vlak považován za jedoucí maximální rychlostí, dochází ke korekci V_{md} . Při výpočtu jízdních dob je pak rychlost vlaku omezována místo rychlostí stanovenou rychlostí maximální dosahovanou.

3.1 Mechanismus korekce

Korekce V_{md} probíhají při obsazení či uvolnění kolejového úseku vlakem. U (časově) krátkých KÚ by docházelo k velkým chybám, proto korekce probíhají jen pokud od předchozí korekce uplynulo nejméně 20 sekund. Pokud ještě 20 sekund neuplynulo, bude úsek využit pro odpovídající dráhové i časové prodloužení příštího úseku a tedy zpřesnění výpočtu dílčí rychlosti v něm. Pokud dílčí rychlost vyšla vyšší než stanovená, je nahrazena stanovenou, pokud vyšla nižší než $\frac{3}{4}$ stanovené, je nahrazena $\frac{3}{4}$ rychlosti stanovené.

Kdyby probíhaly korekce V_{md} přímo dosazením dílčí rychlosti do V_{md} , byly by velmi velké bez rozdílu na množství kilometrů vlakem již v RO ujeté a vedly by k častým a radikálním změnám řešení dopravní situace v důsledku změn sklonu tras. Časté změny jsou nežádoucí vzhledem k součinnosti dopravní inteligence s dopravními zaměstnanci. Dílčí rychlosti jsou navíc zkresleny faktem, že vyhodnocení volnosti kolejového obvodu trvá déle při uvolňování KÚ než při jeho obsazování.

3.2 Odpor ke korekci

Z těchto důvodů je důležité provádět korekce V_{md} s určitým „odporem“ ke změnám, avšak zachovat počítači schopnost vytvořit si rychle „představu“ blízkou skutečnosti.

Při úvahách o podobě odporu jsou zahrnuta následující hlediska:

1. V_{md} by se měla rychle přiblížit indikovaným dílčím rychlostem,
2. po přiblížení V_{md} indikovaným dílčím rychlostem se V_{md} nesmí nechat významně zkreslit nepřesnými odhady dílčích rychlostí či nenadálým chováním skutečného vlaku,

3. dílčí rychlost získaná z delšího časového úseku má mít vyšší váhu.

Odpor ke změnám tedy musí být zpočátku nízký, postupně se ale musí zvyšovat (obdoba procesu žihání).

Při každé korekci je do nové V_{md} dosazen průměr z původní V_{md} a dílčí rychlosti v poměru vah (v_{md} , v_d).

Váha dílčí rychlosti se určí následujícím způsobem:

$$v_d = 0,005 \cdot t_{pk} \quad (1)$$

kde: v_d .. váha dílčí rychlosti [1]

t_{pk} .. doba od předchozí korekce (min. 20 sekund) [s]

v_d běžně nabývá hodnot mezi 0,1 – 0,2.

Váha maximální dosahované rychlosti je na počátku 0,4.

Korekce V_{md} proběhne dle jednoduchého vztahu pro výpočet váženého průměru:

$$V_{md}' = \frac{V_{md} \cdot v_{md} + V_d \cdot v_d}{v_{md} + v_d} \quad (2)$$

kde: V_{md}' .. nová maximální dosahovaná rychlost [km/h]

v_{md} .. váha maximální dosahované rychlosti [1]

V_d .. dílčí rychlost [km/h]

Po korekci V_{md} se zvýší její váha pro příští korekci:

$$v_{md}' = v_{md} \cdot \sqrt[5]{1/v_{md}} \quad (3)$$

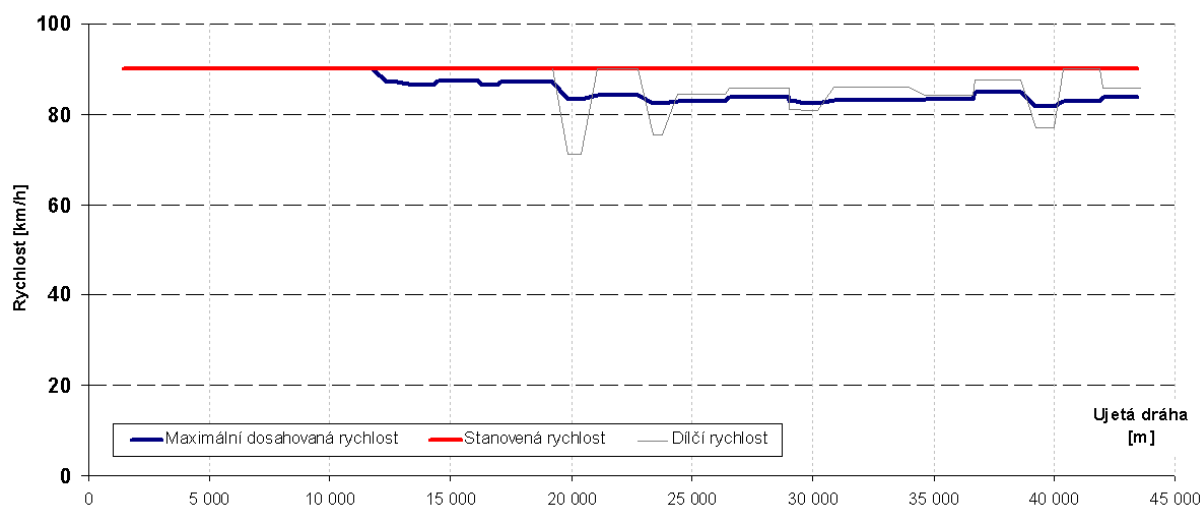
kde: v_{md}' .. nová váha maximální dosahované rychlosti [1]

Vzorec (3) zajišťuje, že v_{md} bude nabývat hodnot z intervalu $<0,4; 1)$, zpočátku roste rychle, avšak blíží se asymptoticky k 1 zleva. Během prvních korekcí se tak odpor ke korekcím silně zvyšuje, ale možnost změny zůstává zachována.

3.3 Příklad korekcí u vlaku 53035

Příkladem funkce korekcí budiž vlak 53035 (1 513 tun, 652 metrů, lokomotiva řady 163, stanovená rychlost 90 km/h) na zdroj: autor dle modulu dopravní inteligence a archivů zabezpečovacího zařízení

obr. 3. Korekce v prvních kilometrech jízdy nepřicházely v úvahu – v 7. kilometru jízdy vlaku se nacházela pomalá jízda 50 km/h. K rozjezdu na rychlost nejméně $\frac{3}{4}$ stanovené rychlosti došlo až po překročení 10. kilometru, 2 km poté začínají být patrné první korekce V_{md} , která se ustálí mezi 82 a 84 km/h, tj. cca 7 km/h pod stanovenou rychlostí. Korekce (při splnění podmínek) nastávaly každých 20 – 30 sekund a byly jak směrem dolů, tak i nahoru.

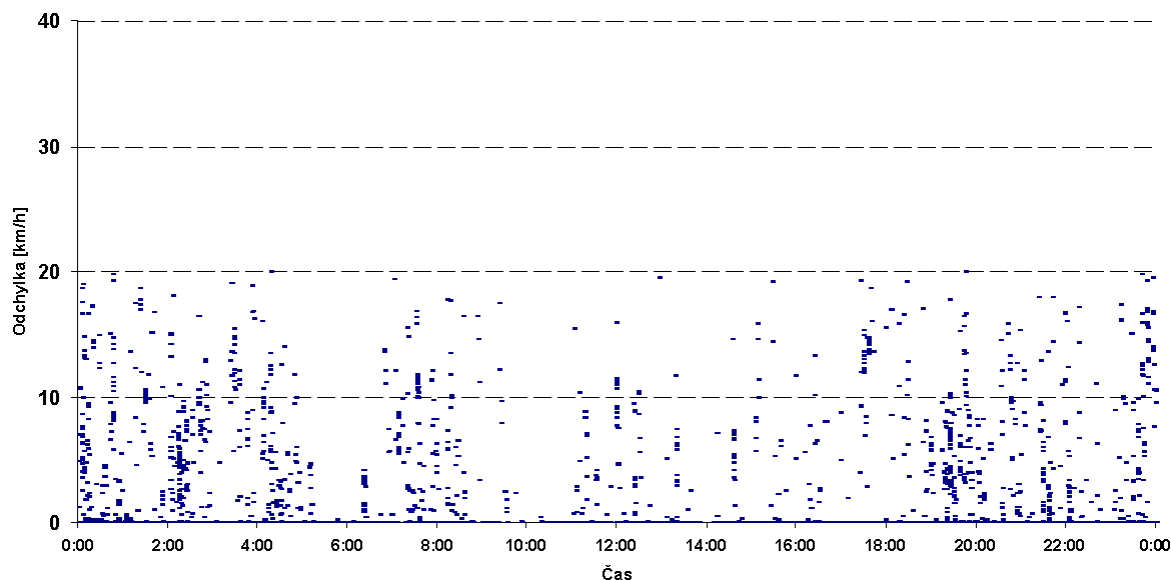


Zdroj: Autor dle modulu dopravní inteligence a archivů zabezpečovacího zařízení

Obr. 3 – Korekce maximální dosahované rychlosti vlaku 53035.

3.4 Výsledky

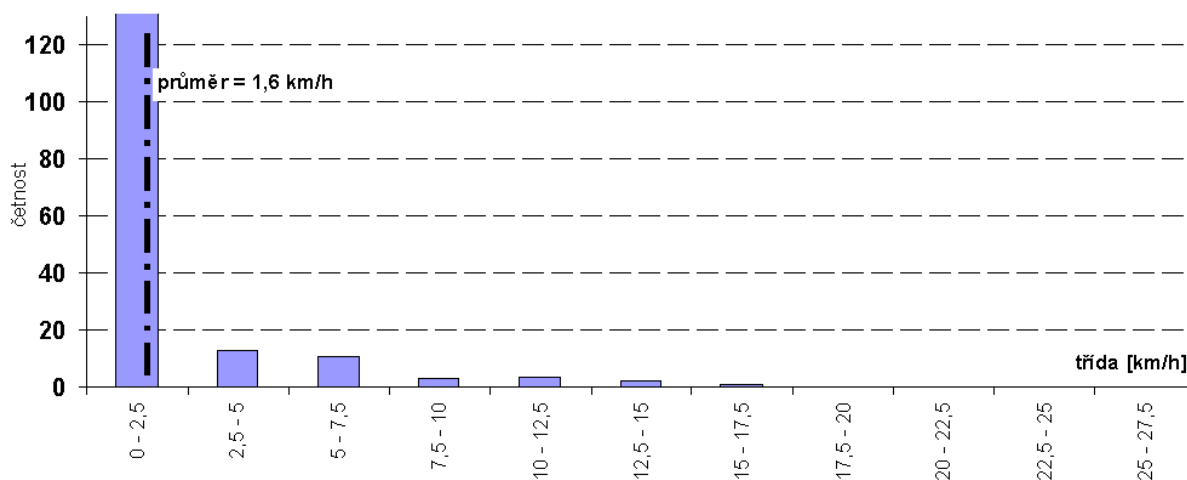
V grafu na zdroj: autor dle modulu dopravní inteligence a archivů zabezpečovacího zařízení obr. 4 leží mnoho odchylek na ose x. Tento fakt je způsoben tím, že pokud při výpočtu V_{md} vyjde rychlost nižší než dílčí, je do V_{md} přímo dosazena rychlost dílčí.



Zdroj: Autor dle modulu dopravní inteligence a archivů zabezpečovacího zařízení

Obr. 4 – Odchyłky dílčí rychlosti od maximální dosahované s odporem ke změnám.

Proto velká část odchylek dílčí rychlosti od V_{md} vychází nulová. 82 % odchylek je menších než 2,5 km/h (viz zdroj: autor dle modulu dopravní inteligence a archivů zabezpečovacího zařízení obr. 5). Průměrná odchylka tak činí jen 1,6 km/h.



Zdroj: Autor dle modulu dopravní inteligence a archivů zabezpečovacího zařízení

Obr. 5 – Histogram četností odchylek dílčí rychlosti od maximální dosahované rychlosti.

ZÁVĚR

Průměrná odchylka dílčí rychlosti od stanovené rychlosti činí 12,8 km/h, zatímco od korigované maximální dosahované rychlosti jen 1,6 km/h. Mechanismus korekcí tedy několikanásobně snižuje odchylky v situacích, kdy lze vlak považovat za jedoucí maximální rychlostí.

Odhad maximální dosahované rychlosti ale odráží aktuální chování vlaku, zatímco pro výpočet jízdního řádu je důležité znát chování vlaku pro příští desítky minut. Nezřídka se totiž stává, že dojde ke sklesání V_{md} na úroveň výrazně nižší, než činí stanovená rychlost a poté se vlak začne rozjíždět. V takovém případě by následně mohlo dojít k jeho zbytečnému zpoždění.

Zároveň je nutno vzít na zřetel, že představený algoritmus se jen snaží suplovat nedostatek informací. Významná část odchylek dílčí rychlosti od stanovené je totiž způsobena chybným údajem o stanovené rychlosti. Mnohem vyšší přesnosti řešení lze dosáhnout jen v případě dostupnosti aktuálních informací o omezeních rychlosti vlaku přicházejících do řídicího systému ve zprávách 726-2.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) VICHEREK, Tomáš. Analýza doby trvání vybraných procesů v železničním provozu. In: Horizons of Railway Transport 2011, Terchová 29. – 30. 9. 2011.
- (2) VICHEREK, Tomáš. Vicherek, Principy dopravní inteligence Automatického stavění vlakových cest. In: InfoTrans 2011, Pardubice 28. 4. 2011, str. 153 – 160, ISBN-978-80-7395-397-3.
- (3) VICHEREK, Tomáš. Navádění vlaků do bezkonfliktních tras, Vědeckotechnický sborník ČD, 31/2011, str. 37 – 53, 2011. Dostupné z <http://vts.cd.cz/VTS/CLANKY/vts31/3104.pdf>.

"Tato práce vznikla v rámci Studentské grantové soutěže Univerzity Pardubice, projekt č. 51030/20/SG520001."