

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA**

DYNAMICKÉ UPRAVOVÁNÍ JÍZDNÍHO ŘÁDU NA ZÁKLADĚ  
AKTUÁLNÍ PROVOZNÍ SITUACE PRO BEZKOLIZNÍ  
PROVÁŽENÍ VLAKŮ – PROVOZNĚ EKONOMICKÉ  
POSOUZENÍ APLIKACE REAL TIME RESCHEDULINGU  
NA TRATI HRANICE NA MORAVĚ – PROSENICE

**2010**

**Bc. Tomáš Vicherek**

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Tomáš VICHEREK  
Studijní program: N3708 Dopravní inženýrství a spoje  
Studijní obor: Technologie a řízení dopravy  
Název tématu: Dynamické upravování jízdního řádu na základě aktuální provozní situace pro bezkolizní provázení vlaků - provozně ekonomické posouzení aplikace Real Time Reschedulingu na trati Hranice na Moravě - Prosenice  
Zadávací katedra: Katedra technologie a řízení dopravy

### Zásady pro vypracování:

Úvod

1. Popis systému
2. Popis trati
3. Rozbor splněného JŘ
4. Posouzení možných zlepšení vlivem Reschedulingu
5. Analýza faktorů výkonnosti Reschedulingu

Závěr

Rozsah grafických prací: 3-5  
Rozsah pracovní zprávy: 40-50  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

LUETHI, Marco, WEIDMANN, Ulrich, LAUBE, Felix, MEDEOSSI, Giorgio. Rescheduling and Train Control: A New Framework for Railroad Traffic Control in Heavily Used Networks. [online]. 2006 [cit. 2009-11-24]. Dostupný z WWW: <[http://www.ivt.ethz.ch/oev/publications/papers/2007A\\_ML.pdf](http://www.ivt.ethz.ch/oev/publications/papers/2007A_ML.pdf)>.  
LUETHI, Marco. Improving the Efficiency of Heavily Used Railway Networks - A systemwide Approach [online]. Zuerich: ETH-IVT, 11.9.2009 [cit. 2009-11-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.ivt.ethz.ch/oev/research/rescheduling>>.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Mazač  
Katedra technologie a řízení dopravy  
Datum zadání diplomové práce: 1. února 2010  
Termín odevzdání diplomové práce: 24. května 2010



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.  
děkan

L.S.



prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 1. února 2010

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladu, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 23. 5. 2010

Tomáš Vicherek

## **ANOTACE**

Práce na modelu konkrétní trati ověřuje míru přínosů systému, který v reálném čase sleduje železniční provoz, předvídá možné konflikty mezi vlaky, sestavuje optimální jízdní řád, který sděluje vlakům, stavědlům a zaměstnancům za účelem snížení přenášeného zpoždění, úspory energie a zkrácení doby obsazení kritických prvků (Rescheduling). Dále se práce zabývá hodnocením vlivu např. AVV (Automatické vedení vlaku), aut. stavění jízdních cest, atd. na účinnost Reschedulingu a ekonomickým posouzením zavedení tohoto systému.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Rescheduling, optimalizace, automatické stavění jízdních cest

## **TITLE**

Dynamic Adjustment of Railway Time Schedule on Actual Operational Situation for Fluent Train Operation – Assessment of Real Time Rechedulling on the Line Segment "Hranice na Moravě - Prosenice" from Operational and Economical Point of View

## **ANNOTATION**

The assests of the system are verified on model of concrete line in this work. The system studies railway operation in real time, anticipates possible conflicts between trains, creates an optimal schedule, that is distributed to trains, interlocking and staff for ensuring of knock-on delay reduction, lower energy consumption and reduction of occupation time of critical elements (Rescheduling). Furthermore the work deals with an influence estimation of ATO AVV, automatic route setting, etc. on effectiveness of Rescheduling and economical aspects of introducing of this system.

## **KEYWORDS**

Rescheduling, Optimization, Automatic Route Setting

## **Poděkování**

Autor práce by rád poděkoval vedoucímu DP a všem zúčastněným zaměstnancům ČD RCP Ostrava, CDP Přerov, firmy AŽD Praha a SŽDC, kteří navzdory pracovnímu vytížení se vší vstřícností a ochotou vždy poskytli potřebná data a odpovědi na mnoho kladených otázek.

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>11</b>
<b>1 Popis systému</b>	<b>13</b>
1.1 Detailní popis	14
1.2 Vstupní informace	16
1.2.1 Zprávy o změně obsazenosti kolejových obvodů	16
1.2.2 Informace o vlakových soupravách	17
1.2.3 Jízdní řád	17
1.2.4 Parametry infrastruktury	17
1.3 Výstupní informace	18
1.3.1 Informace pro strojvedoucí	18
1.3.2 Informace pro stavědla	18
1.3.3 Informace pro vlakové čety	19
1.4 Sledování pohybů vlaků na základě událostí ze stavědel	19
1.5 Kritérium vhodnosti scénáře	21
1.6 Výpočet cílového bodu	22
1.6.1 Určení rychlosti	22
1.6.2 Výpočet času	22
1.6.3 Výpočet kilometrické polohy	23
1.6.4 Diskuse polohy cílového bodu	23
1.6.5 Potřebné rezervy mezi bezprostředně následujícími trasami vlaků	24
1.7 Energeticky efektivní způsoby prodloužení jízdní doby	26
1.7.1 Prodlužování jízdní doby výběhem	27
1.7.2 Prodlužování jízdní doby snižováním maximální rychlosti	28
1.7.3 Další prodlužování jízdní doby	30
1.8 Možnost aplikace genetických algoritmů	30
1.9 Shrnutí	31
<b>2 Popis trati</b>	<b>32</b>
2.1 CDP Přerov	33
2.2 Faktory výběru trati	34
2.3 Modelovaná oblast	34
<b>3 Rozbor splněného JŘ</b>	<b>36</b>
3.1 Plnění JŘ a vývoj intenzity dopravy během dne	36

3.2	Analýza dob pobytů.....	38
3.2.1	Doba mezi událostmi „Uvolnění“ a „Minutí vjezdového návěstidla“ dvou sousedních stanic.....	38
3.2.2	Doba mezi událostmi „Vjezd“ a „Odjezd“ v rámci stanice.....	40
3.2.3	Závěr.....	41
<b>4</b>	<b>Posouzení možných zlepšení vlivem Reschedulingu.....</b>	<b>42</b>
4.1	Nastavení simulace.....	42
4.1.1	Role událostí z GTN.....	42
4.1.2	Pobyty ve stanicích a zastávkách.....	42
4.1.3	Poměrný tah.....	43
4.1.4	Moment ukončení konce rozjezdu a začátku výběhu.....	43
4.1.5	Tvorba matematického modelu a jeho vliv na základní simulaci.....	43
4.2	Validace modelu.....	44
4.3	Případy Reschedulingu během simulace.....	45
4.3.1	Zobrazení stromu řešení.....	45
4.3.2	Vlak Pn EC 137 za Os 3312.....	46
4.3.3	Vlak Pn 62 041 za Os 3315.....	46
4.4	Výsledky simulace.....	50
4.4.1	Dálková osobní doprava.....	50
4.4.2	Regionální osobní doprava.....	52
4.4.3	Nákladní a ostatní doprava.....	53
4.5	Diskuze výsledků.....	54
4.6	Ekonomické posouzení.....	56
4.6.1	Úspory systému.....	56
4.6.2	Náklady na systém.....	57
4.7	Další postup při zavádění ASJC a Reschedulingu.....	58
<b>5</b>	<b>Analýza faktorů výkonnosti Reschedulingu.....</b>	<b>59</b>
5.1	Směrodatná odchylka klíčových procesů.....	59
5.2	Spolupráce s AVV a ASJC.....	60
5.3	Doba od nastání významné události do aplikace povelů.....	60
5.4	Momenty generování JŘ.....	61
5.5	Informace o pohybu vlaků vstupující do modelu.....	62
5.6	Stanovení horizontu předpovědi.....	62



5.7	Orientační výpočet podmínek výhodnosti Reschedulingu .....	63
5.7.1	Výchozí úvaha .....	63
5.7.2	Popis výpočtu.....	63
5.7.3	Výsledky výpočtu .....	64
<b>Závěr</b>	<b>.....</b>	<b>65</b>
	Seznam použitých pojmů .....	66
	Zdroje .....	67
	Seznam obrázků.....	68
	Seznam tabulek.....	69
	Zkratky .....	70
	Přílohy .....	72

## Úvod

Pro železnici jsou typické vysoké pořizovací i provozní náklady dopravních prostředků i dopravní cesty. Jen odpisy vozidel, náklady na periodickou údržbu a náklady času přepravovaných lidí, zboží a personálu mohou na jedné trati dosahovat řádově tisíců korun za minutu.

Zvyšováním spolehlivosti a odstraňováním či změkčováním závislostí mezi v běžném provozu různě zpožděnými vlaky lze dosáhnout buď zlepšení plnění jízdního řádu (tedy základní součástí marketingového mixu především dopravce), nebo snížení rezerv nutných pro uspokojivou stabilitu provozu, tj. zvýšení využití výrobních faktorů, nebo kombinaci obého.

Jednou z cest, jak tomuto cíli napomoci, je zvyšování efektivity řízení provozu. To se v posledních dekádách naplňuje především:

- Zaváděním moderních zabezpečovacích systémů,
- zaváděním dálkového řízení,
- vytvářením stále komplexnějších informačních systémů usnadňujících a zkvalitňujících rozhodování řídicích pracovníků,
- budováním nadřazených systémů řízení.

Poslední jmenovaná položka doposud slaví v zahraničí větší úspěchy než v ČR. Postupná automatizace řízení pohybu vlaků na trati umožní, aby se řídicí pracovníci dále oprostili od rutinní práce a lépe soustředili na problémy, které jsou pro svou komplexnost a „měkkost“ počítačem obtížně řešitelné. Pro kvalitní automatické stavění jízdních cest (ASJC) je vhodné přesně počítat trasy konkrétních, v systému se aktuálně či v blízké době vyskytujících vlaků. Pokud jsou k dispozici z mnoha hledisek optimální trasy respektující aktuální dopravní situaci, otevírá se možnost vlaky do těchto tras co nejpřesněji navést. Tímto v ideálním případě vznikne jakési rozšíření systému Automatického vedení vlaku (AVV).

Vyšší plynulost provozu přinese jak úsporu trakční energie a lepší využití infrastruktury, tak snížení míry přenášeného zpoždění mezi vlaky.

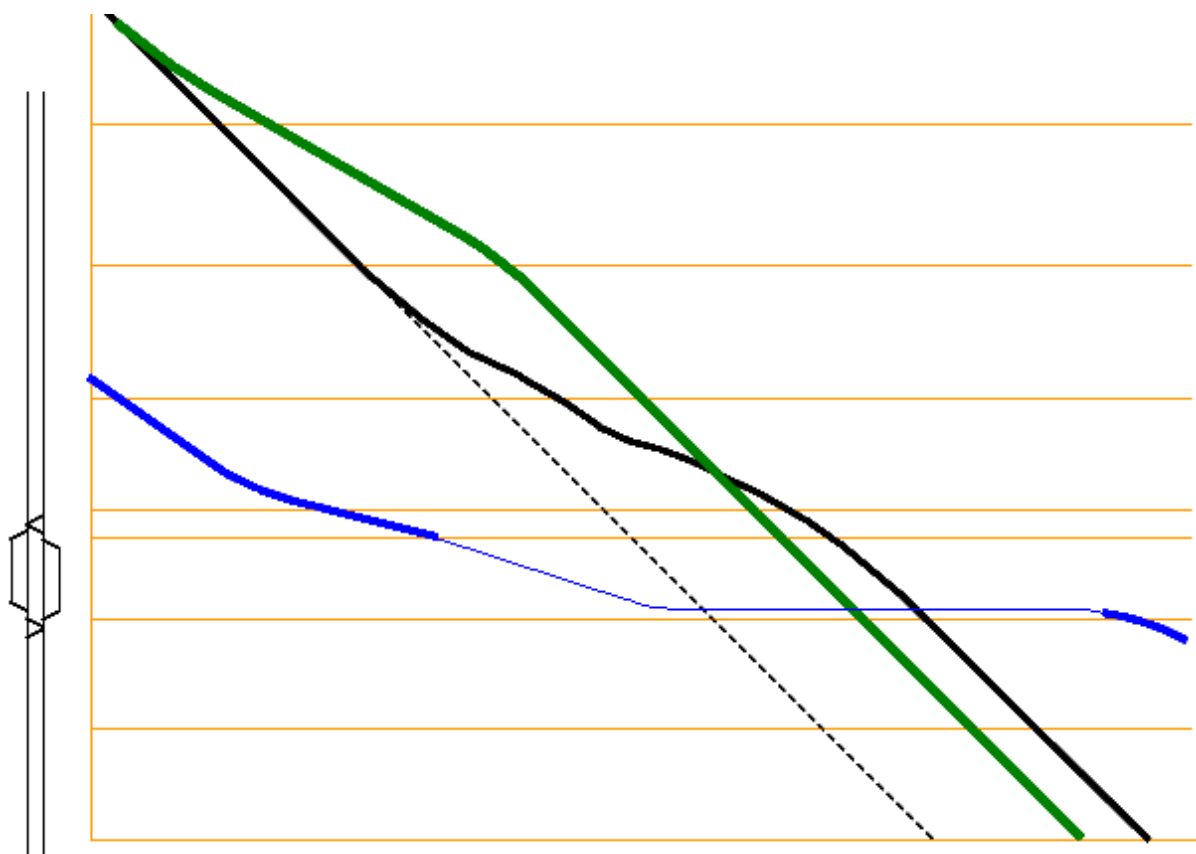
Cílem této práce je simulační ověření možných přínosů systému Resch. na trati Hranice na Moravě – Prosenice na základě splněného grafikonu vybraného dne JŘ 2009/10.

Autor této práce se nechal inspirovat výběrovou přednáškou pana Marco Lüthiho z ETH Zürich týkající se projektu PULS 90 SBB, přednesenou na Univerzitě Pardubice dne 15. 4. 2008, viz (1, 2)

Dále je nutno podotknout, že řízení železničního provozu na základě aktuálních odchylek či dokonce občasné navádění vlaků do optimálních časových poloh je železnici dlouhodobě vlastní, tato práce se zabývá simulačním ověřením možnosti dalšího zefektivnění a automatizace těchto činností.

# 1 Popis systému

Nechť jedou dva vlaky po stejné koleji stejným směrem: první vlak je pomalejší a zpožděný, druhý, rychlejší vlak, jej má předjet.



Obrázek 1 – Efekt navedení do bezkonfliktní trasy

Zdroj: Autor

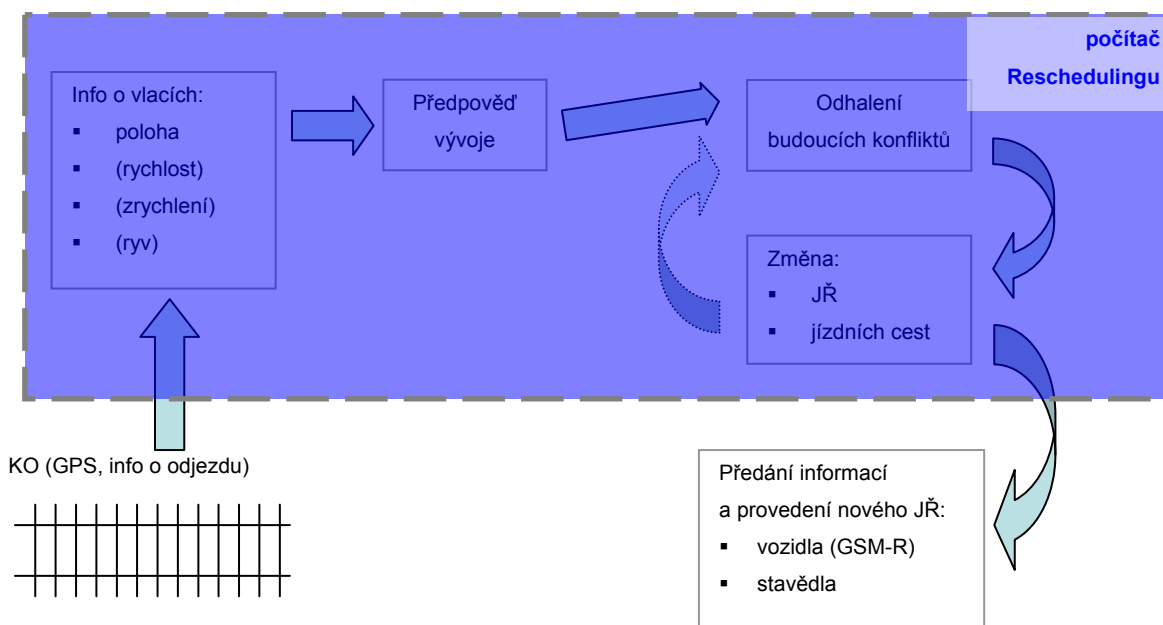
Princip navádění vlaků do bezkonfliktních tras spočívá v myšlence, že pokud je včas řízeně opožděn druhý vlak, může tento dosáhnout cíle dříve a s nižší spotřebou energie, než kdyby musel zastavit či výrazně zpomalit u hlavního návěstidla.

Celý proces je vidět na obrázku nahoře: první vlak je znázorněn modře a vjíždí do stanice sníženou rychlostí vedlejším směrem. Rychlý vlak bez včasné informace (černě) jej v posledních prostorových oddílech před stanicí dojede, silně sníží rychlost, aby se pak pomalu rozjížděl. Alternativou dle Resch. je trasa rychlého vlaku, který včas dostane pokyn k opoždění své trasy (zeleně). Tento vlak kritické místo projede rychleji a dříve, než vlak bez systému navádění a předjetý vlak může odjet dříve.

Na základě obsazování a uvolňování kolejových obvodů systém sleduje pohyb vlaků na trati a řeší případné konflikty. Mění tedy plán cest i časovou polohu trasy vlaku. Pokud

by se měly dva vlaky dojet či sjet, pošle příslušnému (druhému) vlaku s dostatečným předstihem zprávu, že má zpomalit (energeticky vhodné načasování výběhu, následné jízdy a konečného opětovného rozjezdu v kontextu se statickým rychlostním profilem), aby kritický bod projel ve stanovený čas a blokoval kritické prvky dopravní cesty co nejkratší dobu. Pozitivním důsledkem je:

- Úspora trakční energie,
- snížení přeneseného zpoždění,
- lepší využití infrastruktury.



Obrázek 2 – Postup Resch.

Zdroj: Autor

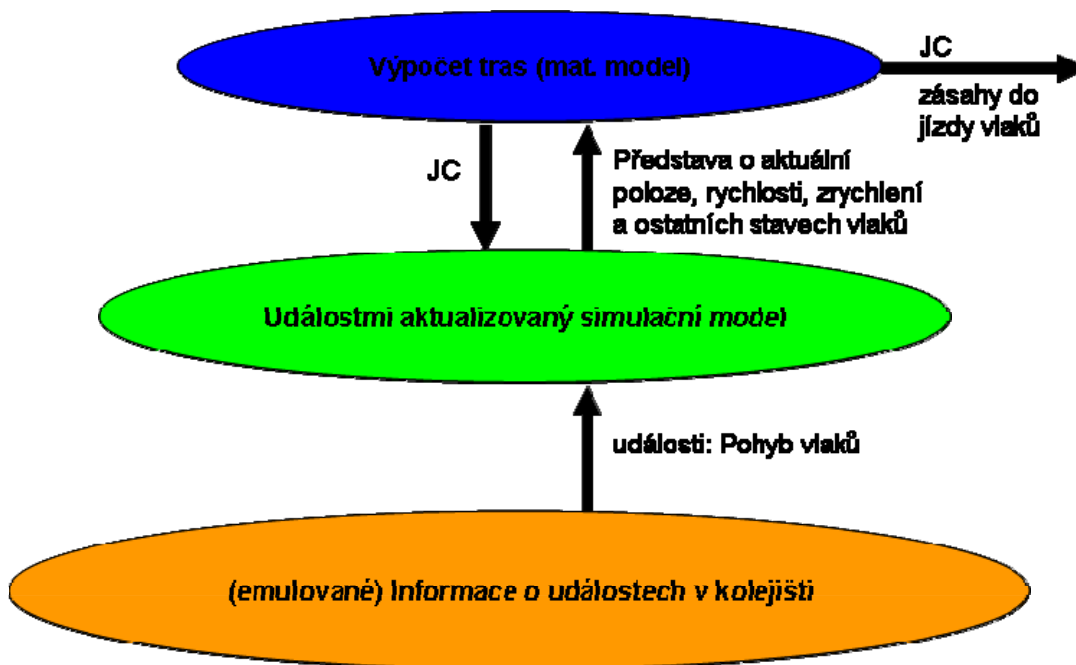
### 1.1 Detailní popis

Resch. je nikoli bezpečná nadstavba stávajících zabezpečovacího zařízení. Případná chyba Resch. nebezpečným směrem je tedy zachycena zabezpečovacím zařízením.

System získává v reálném čase informace z elektronických stavědel o událostech v kolejišti. Hlavními událostmi jsou obsazení a uvolnění kolejového obvodu. Informace o parametrech vlakových souprav (délka vlaku, priorita, řazení – tedy měrný výkon, jízdní odpory, maximální rychlost, parametry brzdění) lze získat např. z databáze dopravců, popřípadě si je systém může odhadovat sám na základě analýzy pohybu vlaků.

Informace o obsazení vlaků a dobách výměny cestujících v jednotlivých stanicích pro stanovení vah sloužících k určení priorit a odhad doby pobytu z přepravních důvodů lze získat ze sčítání cestujících. Konstantní informací jsou parametry infrastruktury, tj. topologie, sklony, rychlosti, délky, poloměry, izolované styky apod. Na základě těchto událostí

doplněných přesným časovým údajem jejich nastání běží na počítači v oblasti důležitých parametrů (poloha, rychlost, zrychlení, stav vlaků) z hlediska časoprostorových poloh a rychlostí vlaků co nejuvěrnější model reálného provozu – základní simulace.



Obrázek 3 – Architektura systému ASJC a Resch.

Zdroj: Autor

Na základě tohoto modelu dokáže počítač s jistým rozdělením pravděpodobnosti odchylek od budoucí skutečnosti vytvořit předpověď vývoje v horizontu příštích jednotek či desítek minut. S oddalováním horizontu předpovědi roste kombinatorická náročnost výpočtu a míra nejistoty předpovědi, z čehož vyplývají častější změny produkčního plánu.

Na základě vypočtených tras jsou jednotlivým prvkům kolejiště a trasám vlaků přiřazena časová okna, v nichž si konkrétní trasa vlaku klade nárok na konkrétní prvek. Odhalí se případné konflikty (časová okna rezervace některého prvku kolejiště se u nejméně dvou tras různých vlaků alespoň částečně překrývají) a navrhne nejméně jedno řešení. Při složitějších dopravních situacích mohou vznikat celé stromy řešení. Soubor tras tvoří možný scénář dopravy, který lze kvantifikovat například mírou váženého zpoždění (redukované osobové minuty s přihlédnutím k prioritě a obsazení vlaků) a spotřebovanou energií (Kč). S pomocí multikriteriálního hodnocení lze pak vybrat ten nejlepší, který bude realizován. Podrobnější pojednání o účelové funkci viz kapitola 1.5 Kritérium vhodnosti scénáře.

V tuto chvíli je třeba určené provozní zaměstnance seznámit s tímto scénářem dopravy a s jistou mírou nevěle vůči změnám jej příliš často neměnit. Zvláště při informování

zaměstnanců, na jejichž pozornosti závisí bezpečnost železničního provozu, je nutno dbát na nenásilnost, ergonomičnost, zřetelnost poskytovaných informací. Způsoby sdělení informací jsou blíže rozebrány v kapitole 1.3 Výstupní informace.

Ideálním řešením výstupu je:

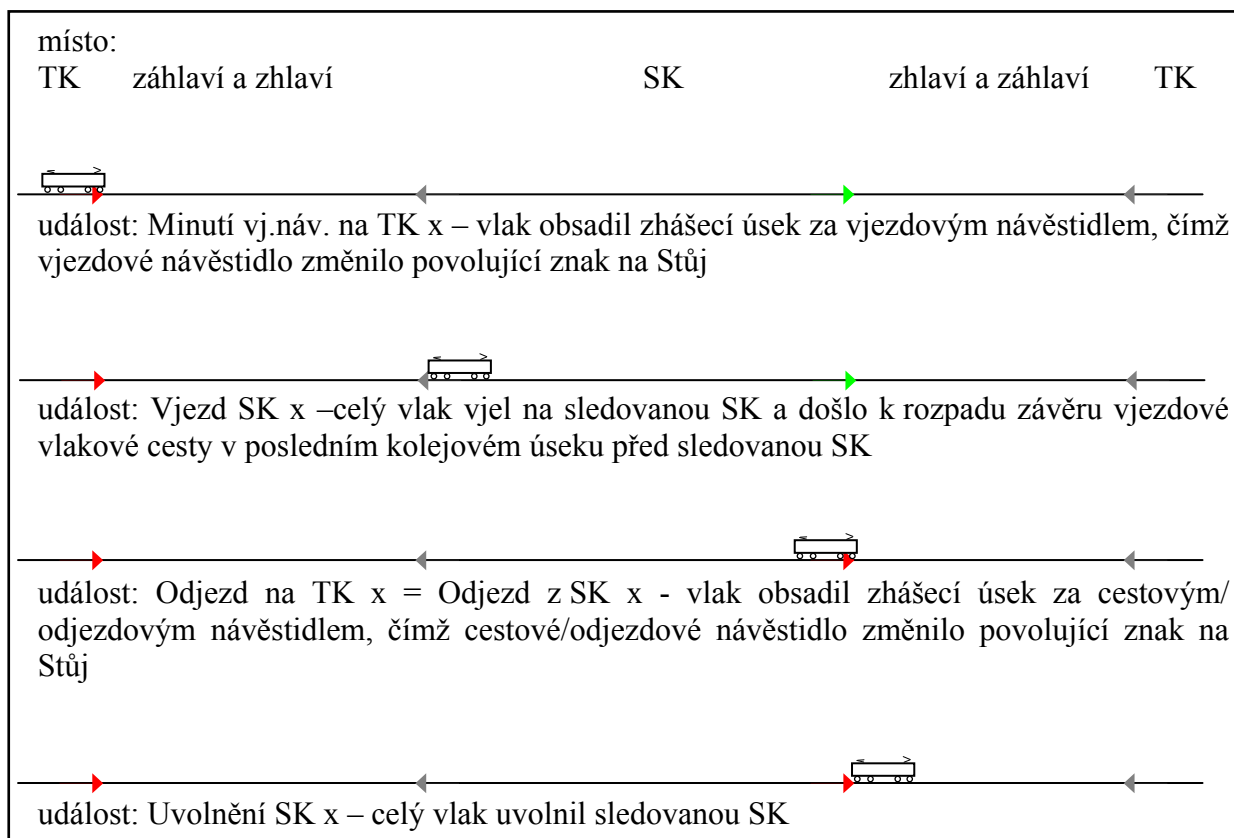
- U vlaku propojení s automatickým vedením vlaku (AVV),
- u stavědel elektronický povel automatického stavění jízdních cest (ASJC).

## 1.2 Vstupní informace

Následující výčet informací potřebných pro kvalitní činnost Resch. je seřazen podle dynamičnosti informací:

### 1.2.1 Zprávy o změně obsazenosti kolejových obvodů

Z elektronických stavědel s přenosem čísla vlaku je možno získávat informace o obsazování a uvolňování kolejových obvodů. Tyto informace mohou být v ideálním případě poskytovány s přesností až na jednu pětinu sekundy (délka pracovního cyklu stavědla) z každého izolovaného úseku kolejového obvodu. V současné době do GTN vstupují během průjezdu vlaku stanicí se sekundovou přesností následující čtyři události:



Obrázek 4 – Události v současné době vstupující do GTN

Zdroj: AŽD (3)

Podrobnějším sledováním těchto událostí lze nad běžně zjišťovanou polohu a rychlost také odhadnout délku vlaku či jeho dynamické vlastnosti (měrný výkon soupravy) pro případ, že by tyto informace nebyly k dispozici z informačních systémů.

Stále aktuální informace by případně mohla poskytovat GPS navigace komunikačně propojená s počítačem ASJC a Resch. Tato alternativa není v této práci dále rozváděna.

### **1.2.2 Informace o vlakových soupravách**

Tyto informace jsou s jistou mírou spolehlivosti během platnosti JŘ v osobní dopravě neměnné, mohou tedy být zadávány jen několikrát za rok. Odchylné mohou být maximální rychlosti při zařazení lokomotivy či vozu s nižší maximální rychlostí, vypnutém naklápění, nebo při nedostatku brzdících procent.

Především v nákladní dopravě bude nutné tyto informace čerpat téměř v reálném čase z IS dopravců.

### **1.2.3 Jízdní řád**

Z interních materiálů manažera infrastruktury je možno získat časové údaje a trasy jízd vlaků osobní i nákladní dopravy. U vlaků nákladní dopravy je nutno získávat informace o zavedených / odřeknutých vlacích a o předvídaném čase odjezdu ze stanice, v níž je pobyt z jiných než dopravních důvodů. To se může dít sledováním událostí vstupujících např. do GTN ze stanic blízkých hranici oblasti, tj. v několik málo desítek kilometrů vzdáleném okolí v závislosti na horizontu předpovědi.

Vznik vlaku v oblasti lze obtížně automatizovaně předpokládat. V případě, že je do ZZ zadáno číslo vlaku dříve, než je vlak schopen odjet, je vhodné, aby systém Resch. dostal zadán čas, kdy vlak bude moci nejdříve odjet.

### **1.2.4 Parametry infrastruktury**

V případě výluk kolejí, ZZ, napětových výluk, atd. je možno čerpat z Informačního systému výluk (ISV). Aktuálnost parametrů kolejiště má často zásadní vliv na kvalitu plánu.

Ostatní informace o infrastruktuře jsou téměř neměnné. Stavební úpravy jsou na určité trati řídké a náklady jak na stavební práce, tak na úpravu ZZ jsou o mnoho řádů vyšší než náklady na přenastavení systému Resch. Časté přenastavení však vyžadují například pomalé jízdy či výluky.

V průběhu vývoje systémů lze očekávat průběžnou automatizaci sběru dat z již existujících, leč často izolovaných informačních systémů.



### 1.3 Výstupní informace

Výstupními informacemi se rozumí informace, které vystupují z počítače Resch. do stavědel, vozidel či mobilních telefonů provozních zaměstnanců.

#### 1.3.1 Informace pro strojvedoucí

Informace pro strojvedoucí může mít grafickou podobu či například takového textu (kromě dohlednosti čísla zvolena náhodně, 12 sekund je dohlednost, tj. uznávaná doba reakce strojvedoucího):

1. „za 12 sekund začněte zpomalovat výběhem na 126 km/h,“
2. „udržujte tuto rychlost po dobu 54 sekund do 12:37:46,“
3. „poté opět zrychlete na 160 km/h.“

Je pravděpodobné, že většinu času, který je nutno v zájmu zabránění konfliktu ztratit, bude možno ztratit vhodným zařazováním výběhů před snížením rychlosti. Podobný asistenční systém zjišťující polohu vlaku prostřednictvím GPS (avšak se statickým JŘ) se používá například u DB (EBuLa). V Lötschbergském tunelu je na vlak buď počítačem nebo dispečerem zasílána velmi jednoduchá zpráva o optimální rychlosti.

Prvotním úkolem strojvedoucího je nespouštět oči z trati, proto je každá nutnost sledování obrazovky diskutabilní. Po vzoru VZ ETCS by bylo možné např. předávat informace i prostřednictvím několikasekundových akustických signálů (tónů s měnícími se frekvencemi, např. pomalu klesající tón = zadej výběh, během výběhu ticho, poté pomalu klesající až konstantní tón = jízda stálou rychlostí, pomalu rostoucí tón – začni rozjezd na plnou rychlost).

Z hlediska bezpečnosti je důležité, aby informace asistenčního charakteru nebyly rušivé pro bezpečnou práci strojvedoucího. Z formy jejich poskytování musí být zřejmé, že mají nižší prioritu než návěsti či informace vlakového zabezpečovače.

#### 1.3.2 Informace pro stavědla

V případě výstupů pro stavědla jde o zasílání informací do bezpečné části stavědel, je tedy nutno dokonale filtrovat nepovolané zásahy třetích osob (hackerů), které by mohly ohrozit bezpečnost provozu. Na rozdíl od některých zahraničních řešení má současná architektura DOZ AŽD 1 (kvůli maximální dostupnosti i nouzových funkcí při dálkovém řízení) prakticky shodný datový tok s LAN sítí stavědla. Nepovolaný vstup dat do sítě DOZ by tedy mohl vést k hazardnímu stavu, proto je v současné době přímé napojení IS, které jsou napojené na intranet či dokonce Internet, nepřijatelné. Pro účely zavedení např. funkce

automatického stavění jízdních cest (ASJC) se však již pracuje na možnosti bezpečně posílat data do DOZ.

### **1.3.3 Informace pro vlakové čety**

Informace vlakové čety mohou zkrátit časový interval mezi postavením odjezdové cesty a počátkem rozjezdu vlaku. Tento proces může u dlouhých přetížených rychlíků trvat i dvě minuty, během nichž se promarňuje kapacita trati či dokonce narůstá zpoždění vlaků<sup>1</sup>. Informace může mít například následující podobu: „*Za 30 sekund bude pro váš vlak postaveno a volno*“. Časový předstih je možno nastavit na jakoukoliv hodnotu pro každou stanici a den v týdnu zvlášť (i automaticky statistickým sledováním minulých situací), či individuálně. Na základě této informace začne vlaková četa v dostatečném předstihu vypravovat vlak, který se tímto dokáže uvést do pohybu jen pár sekund po rozsvícení dovolujícího znaku na odjezdovém návěstidle (popř. došlo povolení k jízdě na VZ ETCS). Nesporný přínos má tato funkce u nákladních vlaků po delším pobytu.

## **1.4 Sledování pohybů vlaků na základě událostí ze stavědel**

Z prosté informace o obsazenosti kolejového obvodu je možno s určitou nepřesností (není známo kde konkrétně se vlak na koleji nachází) určit polohu vlaku. Pokud jsou u konkrétního vlaku k dispozici dvě události, lze (s nepřesností danou zaokrouhlením na celé pětiny sekundy) určit průměrnou rychlost vlaku. Při správném naprogramování a znalosti přesné délky vlaku nezáleží na tom, jestli se jedná o obsazení či uvolnění KO. Během jízdy vlaku po daném kolejišti je tedy k dispozici až dvakrát více informací než je projetých KO. Pokud by nepřesnost způsobená zaokrouhlením byla příliš velká, je možno některé mezilehlé události vypustit a dílčí úseky pomyslně spojit, čímž dojde ke snížení relativní chyby způsobené zaokrouhlováním.

---

<sup>1</sup> Například ve Velké Británii platí pravidlo, že nástup a výstup cestujících je ukončen 30 sekund před plánovaným odjezdem vlaku, který pak opravdu odjede ve chvíli, kdy má postavenou jízdní cestu. Toto opatření dokáže každou minutu a půl (délka slotu včetně rezervy), která je vyhrazena pro souběžný odjezd vždy několika vlaků, uspořit drahocenných několik desítek sekund, tedy velké finanční prostředky, které by jinak musely být vynaloženy na přestavbu infrastruktury.

Odchyly modelu od skutečnosti mohou být způsobeny těmito jevy:

- a) Doba pobytu vlaku ve stanici má vysokou směrodatnou odchylku:
- Porucha centrálního zavírání dveří – tato porucha se vyskytne u vlaku náhodně a poté ve větší či menší míře prodlužuje každý další pobyt,
  - počet cestujících – na základě sčítání cestujících ve všech čtyřech ročních obdobích za mnoho předchozích let (od dubna 2006 elektronicky v IS ČD Paris) lze odhadnout počet cestujících v konkrétní den na konkrétním vlaku v konkrétní zastávce,
  - čekání na zpožděný přípoj – pokud existuje v systému informace o míře zpoždění přípojného vlaku a počtu přestupujících lidí (resp. z minulých zkušeností Resch. „naučená“ doba přestupu), lze dobu čekání předpovědět.

Přípustná je také možnost nesledovat tyto jevy zvlášť, ale na základě předchozích zkušeností systému odhadovat dnešní dobu pobytu (Resch. by prováděl „myšlenky“ typu: *„Minulých 10 pátků byl u tohoto vlaku v této zastávce pobyt s tímto rozdělením pravděpodobnosti o těchto parametrech, takže s 80% pravděpodobností bude dnes kratší než 57 sekund.“*).

- b) Individualita strojvedoucích:
- Každý strojvedoucí vlak rozjíždí a brzdí s jinou intenzitou. Rozdíly budou i ve velikosti výběhu, samozřejmě v závislosti na aktuálním zpoždění,
  - především u vlaků nákladní dopravy někteří strojvedoucí jedou z domnělých úsporných důvodů nižší rychlostí než vyplývá z technických parametrů hnacího vozidla.

Je pravděpodobné, že určité typy chování jsou u konkrétních strojvedoucích stále (běžně spolu se základními informacemi o vlaku putuje mezi výpravčími informace „kdo jej dnes veze“, podle které „se ví, jestli se to ještě stihne nebo už ne“). Pokud by informace o jménu či „druhu“ strojvedoucího na konkrétním vlaku byla známa i Resch., je možné u jednotlivých strojvedoucích exaktně vypořádat používaná zrychlení (resp. procenta poměrného tahu), velikosti výběhů a max. rychlosti při jízdě včas a se zpožděním pro lepší předpověď jízdy vlaku, popř. usměrnit chování strojvedoucího v zájmu odbourání pobytů z dopravních důvodů.

## 1.5 Kritérium vhodnosti scénáře

Účelová funkce je kombinací váženého nezáporného zpoždění (tardiness) vlaků a spotřebované energie.

Zpoždění je možno vážit podle odhadovaného počtu cestujících ve vlaku (např. rámcová data z IS dopravců) a kategorie vlaku. Výsledkem jsou tedy dle kategorie vlaku redukované osobosekundy zpoždění ve vztahu k ceně spotřebované energie. Podobný postup lze zvolit i pro vlaky nákladní dopravy. Tyto dvě veličiny lze převést na peněžní náklady vhodným oceněním času cestujících dle kategorie vlaku a ceny energie. Cena času cestujících byla pro účely simulace určena následujícím postupem:

Dle (4) byla ve studii proveditelnosti „Modernizace 1. tranzitního koridoru“, z října 1999, zpracované SUDOP Praha, odhadnuta hodnota hodiny času v dálkové OD ve výši 90 Kč/hod. Pokud byla pro návrhové období vzata doba dvacet let a ve čtvrtém čtvrtletí 2009 (tj. cca v polovině návrhového období) činila průměrná hrubá mzda 25 752 Kč (5), tj. při 170 odpracovaných hodinách měsíčně 151 Kč/hod., činí částka 90 Kč/hod. 60 % průměrné hodinové hrubé mzdy.

Dle (4) jsou v praxi obvykle užívány různé koeficienty pro ocenění času stráveného při přepravě:

- 100 % – pracovní cesty,
- 75 % – cesty do/ze zaměstnání,
- 40 % – cesty za nákupy a službami,
- 25 % – rekreační cesty.

Neexistuje však jednotný, všeobecně akceptovaný způsob ocenění. Tolik (4).

Pokud by všechny čtyři účely cesty byly zastoupeny rovnocenně, činí prostý průměr těchto hodnot 60 %, což koresponduje s interpretací odhadu nákladů na hodinu cesty dle SUDOP.

Vzhledem ke skutečnosti, že v této práci je počítáno se současnou hodnotou peněz, zvolil autor do kritéria průměrnou současnou hodnotu času cestujícího také 90 Kč/hod.

Cena mechanické práce hnacího vozidla (tedy energie na sběrači / účinnost lokomotivy) byla zvolena na 2,6 Kč/kWh.

Místem měření zpoždění a spotřeby mohou být v principu důležité stanice vlaku, v simulaci je pro jednoduchost pracováno jen se zpožděním na výstupu z oblasti.

## **1.6 Výpočet cílového bodu**

Cílový bod je počítán automaticky systémem Resch. Obsahuje údaj o čase, kilometrické poloze a rychlosti. Slouží k navádění vlaků.

### **1.6.1 Určení rychlosti**

Cílová rychlost musí odpovídat v daném místě maximální možné rychlosti (samozřejmě s ohledem na další dynamický profil jízdy vlaku). Důvodem pro volbu tohoto postupu je zajištění minimalizace doby obsazení kritických prvků v následujících prostorových oddílech. Toto může být důležité například při křižování vlaků a zkracuje se tímto i vliv křižování na předjížděný vlak.

Jedním z důvodů pro nižší cílovou rychlost může být návaznost na další cílový bod v rámci sekvence cílových bodů.

### **1.6.2 Výpočet času**

Čas vychází z:

- očekávaného času uvolnění kritického prvku, resp. úseku KO (poslední společný pro obě trasy vlaku),
- doby reakce KO (1 – 3 sekundy),
- doby projevu této změny na monitoru zadávacího počítače dispečera (1 s),
- doby na uvolnění závěru (5 s),
- doby na zadání další JC:
  - obsluha člověkem normativně 6 s, ve skutečnosti často stisknutí klávesové zkratky makra cesty (1 s),
  - zadání povelu od ASJC (1 s?),
- doby potřebné na postavení nové vlakové cesty (vlastní měření autora na SZZ ESA 11):
  - pokud nedochází k přestavování výměn 7 s,
  - pro jednu skupinu přestavovaných výměn ( $\leq 4$  (6) výměn) 18 s,
  - pro každou další skupinu výměn navíc 9 sekund,
- doby zpoždění rozsvícení povolujícího znaku, pokud se cesta nachází v přibližovacím úseku PZZ
  - při „podržení“ přejezdu 0 s,
- doby potřebné k doručení nového povolení k jízdě na hnací vozidlo vlaku:

- u VZ LS možná i mírně záporná složka vlivem několik sekund trvající doby aktualizace znaku na opakovači kvůli použití dodatečného kódování KO.
- u ETCS řádově jednotky sekund.

Ve chvíli, kdy dojde na vlakovém zabezpečovači k prodloužení povolení k jízdě, popř. nachází-li se vlak na dohlednost před předvěstí kryjícího návěstidla, shoduje se poloha čela vlaku v ideálním případě s polohou vypočítaného cílového bodu.

### 1.6.3 Výpočet kilometrické polohy

Kilometrická poloha vychází ze vzdálenosti, jaká musí být mezi právě uvolněným kritickým prvkem a následným vlakem. Kritický prvek do doby postavení další cesty kryje návěstidlo v poloze zakazující jízdu (tzv. kryjící návěstidlo). Jeho předvěstí je v případě automatického bloku předchozí návěstidlo v poloze výstraha. V druhém prostorovém oddíle před návěstidlem kryjícím kritický prvek je v KO žlutý kód VZ LS. Cílový bod se má nacházet:

- a) U vlaků a v místech s rychlostí nad 120 km/h těsně u začátku druhého prostorového oddílu před návěstidlem kryjícím kritický prvek, tj. nejméně 2 000 metrů před kritickým prvkem,
- b) u vlaků a v místech s rychlostí do 120 km/h včetně na dohlednost před předvěstí návěstidla kryjícího kritický prvek, tj. zhruba 1 400 metrů před kritickým prvkem. Dohlednost lze zahrnout buď do kilometrické polohy cílového bodu v závislosti na rychlosti vlaku, nebo patřičným prodloužením mezery mezi okny obsazení. Druhá varianta je dle autora jednodušší, neboť vlak se může právě rozjíždět apod.

### 1.6.4 Diskuse polohy cílového bodu

Případ respektující jízdu na nejméně dva volné prostorové oddíly znamená, že pokud se vlak nenachází v přímém rovném úseku a není opticky vidět na více než dva oddíly dopředu, nemá strojvedoucí šanci ani zaznamenat, že se rozjíždí proti nejméně dva kilometry vzdálenému stůj.

Druhý případ znamená, že se strojvedoucí někdy i dle pokynu Resch. rozjíždí, přestože na opakovači svítí žluté světlo, která se změní až 12 s (dohlednost) před projetím návěstí výstraha. Navíc přesný čas změny návěstního znaku lze s velkou mírou jistoty (např. s jistotou nad 95 % odchylka do 1 sekundy) znát jen několik desítek sekund předem – doba stavění jízdní cesty je při známé poloze výměn ve stanici předpověditelná. V posledních například 18 sekundách (plus případná dohlednost a rezerva) tak systém Resch. může dále

potvrdit či zamítnout správnost navádění a tím připravit strojvedoucího na možnou potřebu brzdění k návěsti stůj.

Předtím, než Resch. obdrží poslední událost omezujícího vlaku, je čas cílového bodu zatížen jistou mírou nejistoty, kterou lze statisticky popsat. Bez kvalitního vlakového zabezpečovače z bezpečnostního hlediska nepřijatelným problémem tedy může být následující situace: Omezující vlak zvyšuje nenadále zpoždění ve chvíli, kdy se za ním jedoucí vlak již (na pokyn Resch.) rozjíždí proti výstraze. Toto může být při pobytu omezujícího vlaku ve stanici/zastávce často se vyskytující jev. Proto bude potřebné při výpočtu času cílového bodu započítávat jistou rezervu, viz kapitola 1.6.5 Potřebné rezervy mezi bezprostředně následujícími trasami vlaků a 3.2 Analýza dob pobytů.

Přesné nastavení polohy cílového bodu je citlivá záležitost. Faktem je, že vzdálenost cílového bodu od kryjícího návěstidla přímo ovlivňuje smysl Resch. Příliš opatrné stanovení vzdálenosti cílového bodu má za následek nadměrné prodloužení vzdálenosti mezi vlaky v kritických okamžicích. Pozitivní efekt Resch. na redukci přenášeného zpoždění by se tímto změnil na negativní.

Bez Resch. dochází k rozjezdům zpožděného vlaku oddíl po oddílu za omezujícím vlakem v současné době mnohem častěji než tomu bude s Resch. Tento systém tak může mít pozitivní vliv na bezpečnost železniční dopravy.

### **1.6.5 Potřebné rezervy mezi bezprostředně následujícími trasami vlaků**

Je poměrně snadné deterministicky vypočítat trasy vlaků a tedy čas, který má druhý vlak případně řízeně ztratit. Pohybujeme se však ve stochastickém systému. Vyvstává tedy rozhodovací problém, zda první vlak uvolní kritický prvek dříve či později, než bylo předpovězeno

Pokud první vlak jede pomaleji, než bylo předpovězeno, dochází u druhého vlaku nejdříve k vyčerpání rezervy, poté se zkracuje dohlednost (zvyšuje se „nervozita“ strojvedoucího = klesá „chut“ přístě věřit systému při rozjezdu proti výstraze a vzdálenému stůj), vlak postupně přechází z rozjezdu odrychlením do režimu jízdy, výběhu, či dokonce náběhem brzd do režimu brzdění. Brzdění je silný negativní efekt. Zpočátku především z energetického hlediska, při větší ztrátě rychlosti i z časového (kapacitního) hlediska. Nezanedbatelné je i psychologické a v případě zastaralého vlakového zabezpečovače i bezpečnostní hledisko.

Pokud první vlak jede rychleji, než bylo předpovězeno (byla stanovena větší rezerva než bylo nutné), došlo k přenesení vyššího zpoždění (možná i vyšší, než kdyby Resch. neexistoval) než bylo nutné a došlo ke ztrátě kapacity tratě.

Na určení potřebné rezervy lze aplikovat Stochastický statický model zásob:

$$t_R = F_S^{-1} \left( \frac{C_e}{C_l + C_e} \right) \quad [s, K\check{c}, K\check{c}, K\check{c}] \quad (1)$$

kde:

$t_R$  – časová rezerva mezi trasami

$F_S$  – distribuční funkce náhodné veličiny „časový rozestup mezi časovými okny obsazení konfliktního prvku dvěma vlaky“

$C_e$  – náklady na každou sekundu, o kterou vlak jede dříve (early)

$C_l$  – náklady za každou sekundu, o kterou vlak jede později (late)

V ověřovací simulaci dle tohoto vzorce zatím není počítáno, je stanovena konstantní rezerva 5 sekund.

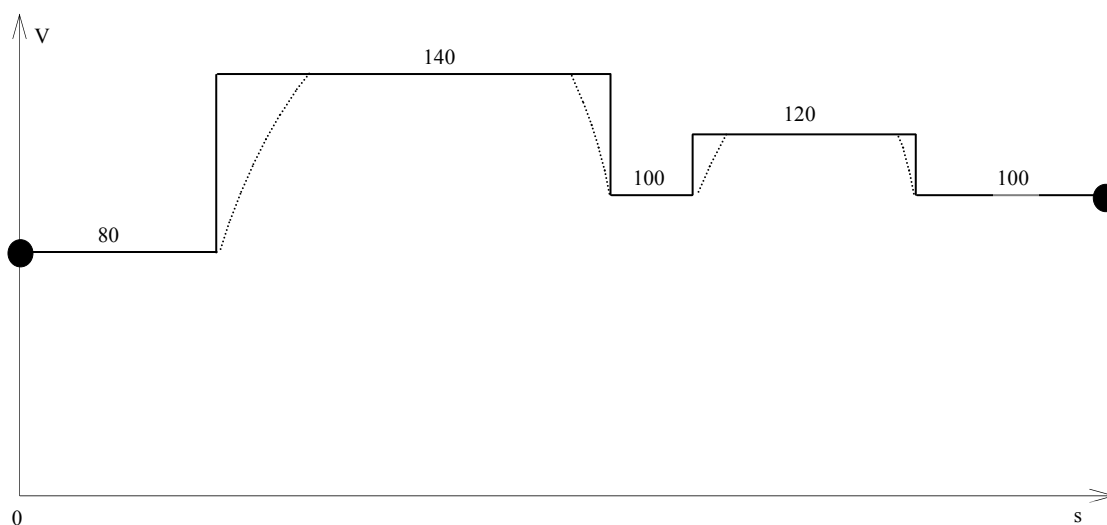


## 1.7 Energeticky efektivní způsoby prodloužení jízdní doby

V provozu často nastává situace, kdy vlak má být na určitém místě později, než umožňuje fyzikálně nejrychlejší způsob jízdy. Důvodem může být jak plánovaný příjezd do následující zastávky (od roku 1993 v ČR součást optimalizátoru jízdy vlaku), tak na základě dopravní situace vzniklá potřeba řízeně opozdit vlak pro zamezení konfliktu tras (Resch.).

Možnost či potřeba prodloužení jízdní doby mezi dvěma body poskytuje šanci dosáhnout znatelných úspor trakční energie. Úspora energie na sekundu možného prodloužení jízdní doby (JD) roste s rychlostí a hmotností vlaku, klesá s pravděpodobností rekuperace (v ČR málo využívaná). Nejvyšší úsporu energie na jednu sekundu přináší první sekunda. S rostoucím prodlužováním JD tedy klesá úspora energie na sekundu prodloužení JD.

Jako příklad budiž uveden následující statický a v něm nejrychlejší možný dynamický rychlostní profil:



Obrázek 5 – Modelový statický a dynamický rychlostní profil

Zdroj: Autor

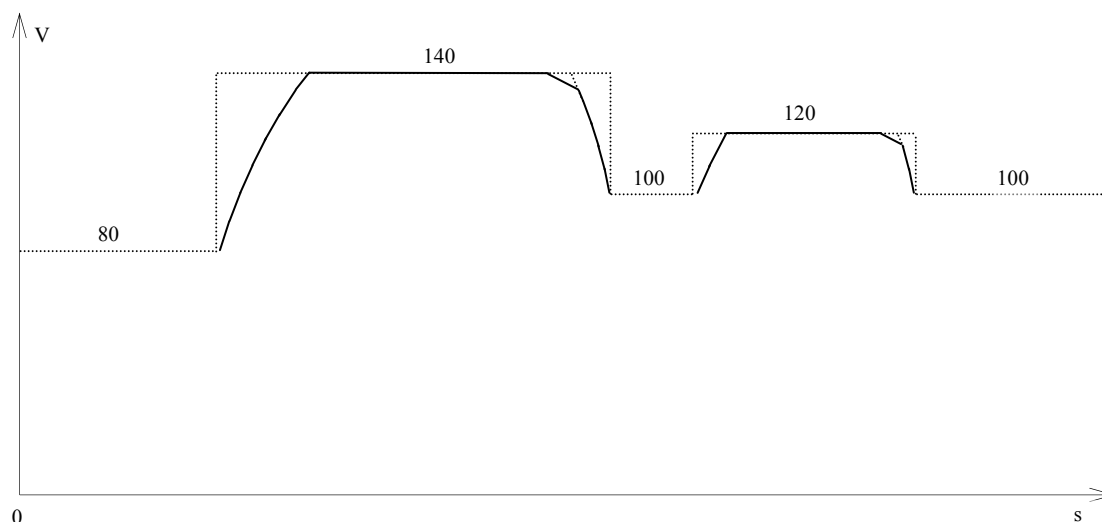
Černé body znázorňují místa na trati, u kterých je dána nejen kilometrická poloha, ale i čas, v němž mají být dosaženy a rychlost vlaku v okamžiku jejich dosažení.

Levý bod je například aktuální poloha vlaku. Pravý bod je cílový bod vytvořený Resch., při předjíždění vlaků často v místě druhého oddílového návěstidla před vjezdovým návěstidlem, popř. na dohlednost před posledním odd. návěstidlem automatického bloku, rozbor viz kapitola 1.6 Výpočet cílového bodu.

Oba body jsou vlastně zadáním celé úlohy.

### 1.7.1 Prodlužování jízdní doby výběhem

Takovýto rychlostní profil umožňuje v první řadě spořit energii na dvou místech, a to při snižování rychlosti ze 140 na 100 km/h a ze 120 na 100 km/h. Pokud prodloužíme jízdní dobu tohoto profilu o několik málo sekund, je účelné, aby rychlostní profil vypadal následovně:



Obrázek 6 – Výběhy pro krátké prodloužení jízdní doby, řádově o sekundy

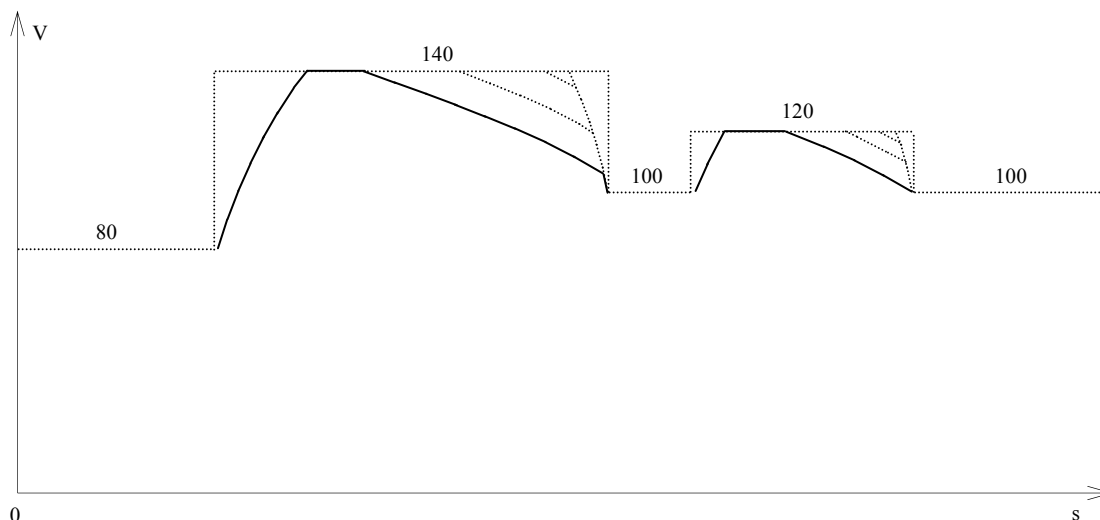
Zdroj: Autor

Jelikož doba, o kterou můžeme prodloužit JD, je konstantní a mezi dvěma pevnými body existují dvě příležitosti k výběhu, musí se konstantní doba přerozdělit při zvažování následujících faktorů:

- Ve vyšší rychlosti dochází k vyšší úspoře energie na sekundu doby trvání výběhu. Důvodem je nárůst jízdních odporů dle kvadratické funkce rychlosti,
- snížení rychlosti o konstantní změnu má ve vyšší rychlosti relativně menší vliv na prodloužení JD (např. snížení rychlosti výběhem o 5 km/h z rychlosti 140 km/h je v poměru k původní rychlosti nižší než snížení rychlosti výběhem o 5 km/h z rychlosti 40 km/h).

Dle (6) je vhodné konstantní dobu možného prodloužení přerozdělit v poměru druhých mocnin rychlostí.

Pokud je nutno prodloužit dobu o delší dobu, vypadají výběhy následovně:



**Obrázek 7 – Výběh pro prodloužení jízdní doby řádově o 10 sekund**

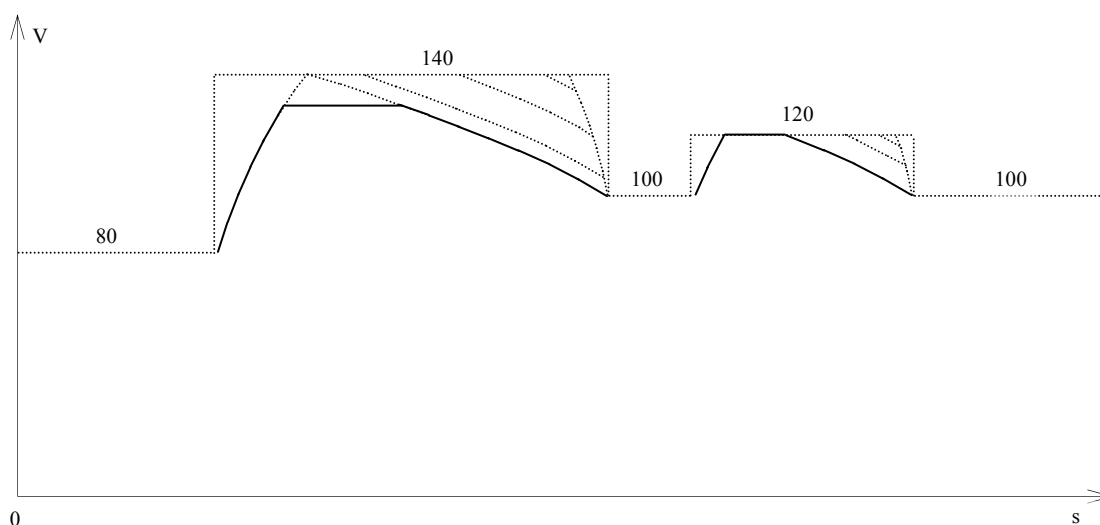
**Zdroj: Autor**

Na obrázku 6 je vidět, že přerozdělování doby se zastavilo ve chvíli, kdy bylo u druhého výběhu dosaženo nejnižší možné rychlosti (100 km/h).

Při dalším zvyšování doby se prodlužuje jen první výběh a dosáhne se stavu, kdy již nelze dále prodlužovat žádný výběh. Je nutno začít snižovat maximální dosaženou rychlost.

### 1.7.2 Prodlužování jízdní doby snižováním maximální rychlosti

Jízdní odpory jsou nejvyšší v nejvyšší rychlosti, proto je z energetického hlediska účelné alokovat sekundy doby prodloužení JD přednostně na snížení nejvyšších dosažených rychlostí:



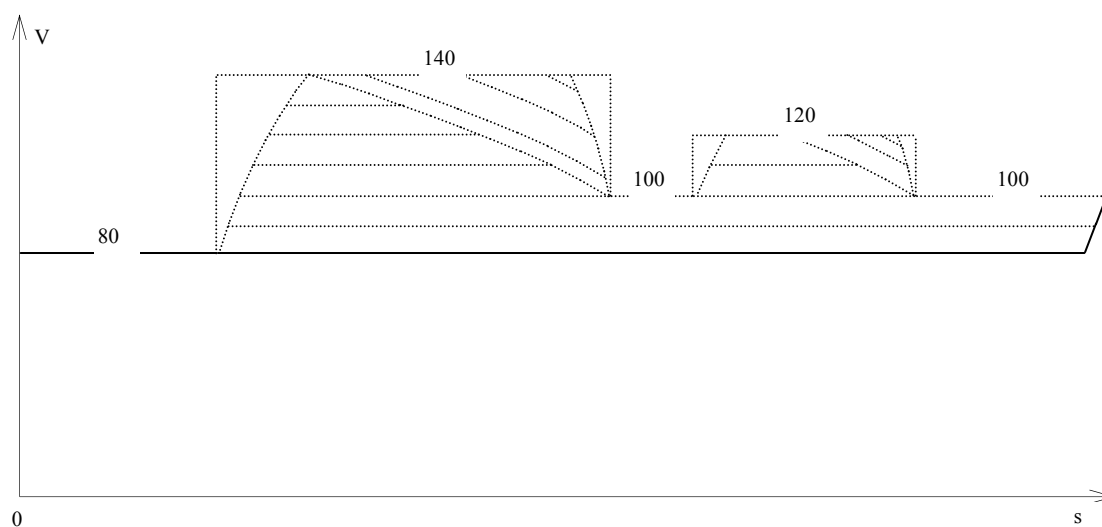
**Obrázek 8 – Snižování rychlosti pro prodloužení JD o desítky sekund**

**Zdroj: Autor**

Potud autor při líčení energeticky optimálních strategií prodlužování JD čerpal z učení Dr. Ivo Myslivce (6).

V případě, že je nutno prodloužit jízdní dobu o řádově několik minut, je nutno dále snižovat maximální rychlost, dokud není dosaženo rychlosti dané cílovým bodem.

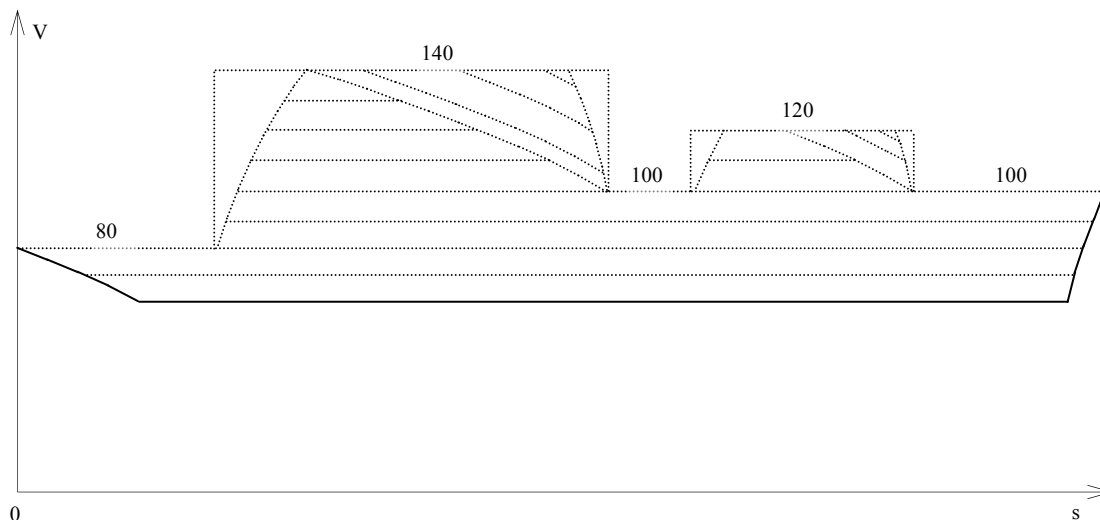
V této chvíli se již rychlostní profil skládá z velké části z jízdy konstantní rychlostí. Pro další zvýšení prodloužení JD lze dále snižovat maximální rychlost, před cílovým bodem je nutno dosáhnout předepsané rychlosti (podrobnější rozbor aspektů tohoto kroku viz 1.6 Výpočet cílového bodu). Energetický efekt snižování maximální rychlosti spočívá v tom, že odpor vzduchu, který je ve vyšších rychlostech dominantním vozidlovým odporem, roste přibližně s druhou mocninou rychlosti. Spotřebovaná energie na konstantní dráze roste s o jednu derivaci nižší mírou, tedy přibližně lineárně s rychlostí.



**Obrázek 9 – Pro prodloužení jízdní doby o několik minut je nutno udržovat nižší rychlost Zdroj: Autor**

Nyní bylo dosaženo prodloužení JD řádově jednotek minut. Pro další prodlužování JD je nutno zadat výběh co nejdříve, nejlépe ihned po získání informace o potřebě výrazně prodloužit JD, popř. po uplynutí dohlednosti.

### 1.7.3 Další prodlužování jízdní doby



Obrázek 10 – Použití „údolí výběhem“ pro mnohaminutové prodloužení JD

Zdroj: Autor

Čím kratší je úsek jízdy konstantní rychlosti (po „dně údolí“), tím důležitější je zadat výběh včas. V případě dalšího zkracování konstantního úseku až k setkání výběhu s rozjezdem, lze již dalšího prodloužení jízdní doby dosáhnout (dle naléhavosti a obtížnosti většího prodloužení doby):

- Snížením cílové rychlosti při opětovném rozjezdu na rychlost danou cílovým bodem,
- nahrazením počátečního výběhu brzděním vypočtené intenzity, neboť dřívější brzdění na určitou rychlost znamená nižší ztrátu kinetické energie než pozdější brzdění na rychlost nižší, problematická bude ale přesnost realizace požadovaného zpomalení strojvedoucím,
- snížením cílové rychlosti předchozího cílového bodu (pokud jej vlak ještě neminul),
- nebo oddálením odjezdu vlaku z předchozí stanice / zastávky.

## 1.8 Možnost aplikace genetických algoritmů

Výhodnost scénáře lze popsat hodnotou účelové funkce. Vlastnosti (parametry tras) a způsob řešení konfliktů v rámci scénáře mohou být reprezentovány určitým kódem. Tento kód může být v genetických algoritmech inspirovaných přírodou interpretován jako genotyp jedince populace (=scénáře).

Po vytvoření počáteční populace scénářů je jednotlivým scénářům na základě jejich kvality (hodnoty účelové funkce, tj. vitality) přiřazen počet rozmnožení při vytváření nové, stejně početné populace. Při vzniku nové populace se uplatňují algoritmy křížení částí

genotypu, popř. následná mutace. Tyto postupy výrazně zvyšují šanci na opuštění lokálního extrému.

Celý postup se opakuje například do chvíle podkročení stanoveného rozdílu hodnot účelových funkcí dvou po sobě následujících populací, nejpozději po určitém daném počtu generací pro omezení doby výpočtu. Z výsledné populace bude implementován nejlepší scénář, který je však pouze suboptimálním řešením celé úlohy.

## **1.9 Shrnutí**

V železničním provozu nastávají konflikty, které způsobují přenos prvotního zpoždění na další vlaky, zvýšení energetické náročnosti a prodloužení doby obsazení kritických kolejí. Tyto konflikty snižují kapacitu infrastruktury a působí další následné zpoždění. Možná budoucí nadstavba zabezpečovacího zařízení – systém Resch. – v reálném čase získává informace ze stavědel o vývoji dopravní situace, počítá se sekundovou přesností budoucí trasy vlaků a předpovídá možné konflikty, které řeší dle více hledisek (výsledné vážené zpoždění, spotřeba energie) a na základě tohoto vytváří informace pro vlaky, stavědla a další zúčastněné zaměstnance.

Vlaku je s dostatečným předstihem poskytnut čas, v němž má minout určitý bod na trati, aby později nemusel náhle snižovat svou rychlost před hlavním návěstidlem zakazujícím jízdu. Na tento cílový bod je vlak energeticky výhodným způsobem postupně naveden a následující prostorové oddíly již projede plynule, bez zbytečného brzdění.

Stavědlu jsou poskytovány optimalizované jízdni cesty vlaků.

Ostatní dopravní zaměstnanci mohou na základě došlých informací lépe přizpůsobit své chování přesně stanoveným časovým lhůtám, aby v kritických chvílích nedocházelo ke zbytečným prostojům (např. začátek vypravování vlaku před postavením vlakové cesty).

## 2 Popis trati

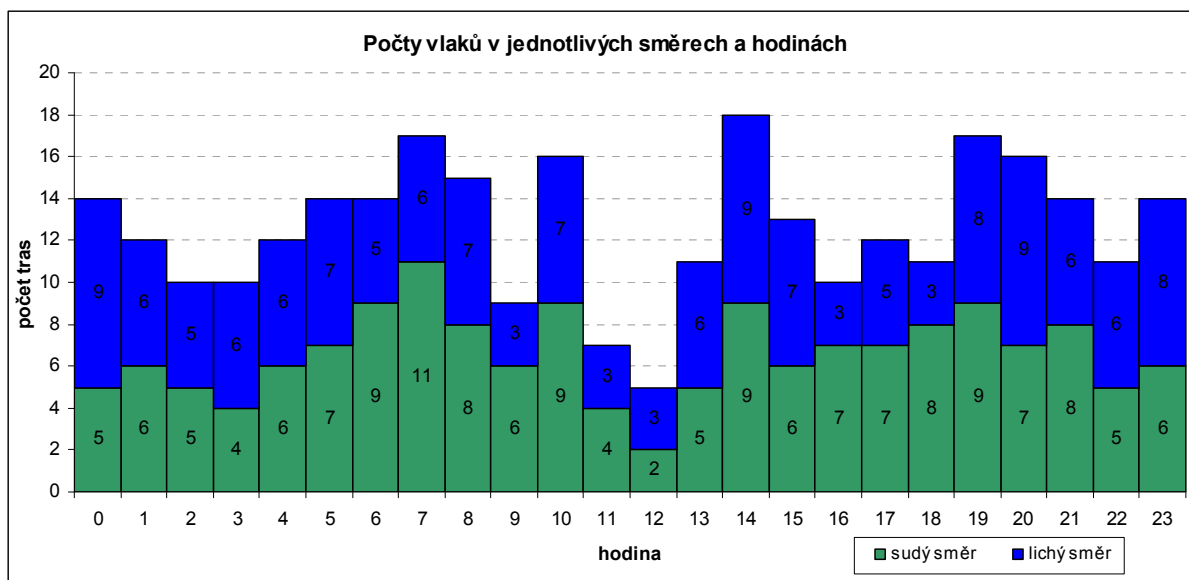
Úsek Hranice na Moravě – Prosenice je součástí dvoukolejné celostátní trati č.270 KJŘ / 305 SJŘ elektrifikované systémem 3 kV. Tato trať patří do sítě TEN, VI. panevropského multimodálního koridoru a II. a III. národního železničního koridoru.

Do Hranic na Moravě ústí dvě dvoukolejné trati (od Ostravy a od Valašského Meziříčí), v Prosenicích Dluhonická spojka od Olomouce (Prahy) a od Přerova (Břeclavi, Brna). Na 21 kilometrů dlouhém úseku Hranice na Moravě – Prosenice se tedy na jedné trati sbíhá provoz dvou dvoukolejných tratí. Přes propustnou výkonnost jednotlivých traťových kolejí 233, resp. 227 vlaků (nejvyšší v ČR) tak součinitel využití propustnosti dosahuje 75 %, viz příloha, zdroj: Krýže (7). V JŘ je tedy zaneseno cca 345 (počítáno 310 + část Ruš. a pp.) tras z 460 možných.

Tabulka 1 – Počty tras v úseku Drahotuše – Lipník n. B. v GVD 2009/10

JŘ 2009/10		sudý	lichý	celkem
Celkem		220	204	424
z toho:	Ruš a pp	54	57	111
	ostatní	<b>163</b>	<b>147</b>	<b>310</b>
	z toho: osobní doprava	76	66	142
	nákladní doprava	86	81	167

Zdroj: SJŘ



Zdroj: JŘ 2009/2010

Obrázek 11 – Počty tras dle sešitového jízdního řádu v jednotlivých hodinách v úseku Lipník nad Bečvou – Drahotuše, bez Ruš. a pp vlaků

Traťové rychlosti mírně kolísají a dosahují až 130 km/h pro klasické soupravy, resp. 160 km/h pro soupravy s naklápačnými skříněmi.

Trať dovoluje třídu zatížení D4, průjezdný průřez GC. Sklonové poměry jsou velmi příznivé, v delších úsecích ani redukovaný sklon většinou nepřesahuje čtyři promile. Na Dluhonické spojce se v délce asi 800 metrů vyskytuje sklon sedm promile, na Drahotušské spojce stejně jako na trati směr Odb. Skalka (–Valašské Meziříčí) až devět promile.

Provoz ve stanicích Hranice na Moravě, Drahotuše, Lipníku nad Bečvou a Prosenicích je dle (8) řízen s pomocí zabezpečovacího zařízení 3. kategorie stavědly ESA 11, jízdy vlaků v mezistaničních úsecích jsou zabezpečeny trojznakovým obousměrným automatickým blokem typu AB E1, úsek do Dluhonic / Přerova typu AB3-82, úsek do Odb. Skalka – Hranic na Moravě město již jen automatickým hradlem.

Jízda vlaků je dohlížena vlakovým zabezpečovačem LS, v budoucnosti se počítá se zaváděním ETCS.

V úseku je k dispozici rádiový systém TRS, v současné době probíhá výstavba systému GSM-R.

Po rekonstrukci koridoru v letech 1998 – 2002 byla trať řízena úsekově – stanice Drahotuše z Hranic na Moravě a stanice Lipník n. Bečvou z Prosenic, během roku 2009 se přešlo na dálkové řízení z CDP Přerov.

Úsek dodnes není vybaven ATO systémem Automatické vedení vlaku. V okolí je nejbližší vybavený úsek Hranice na Moravě – Ostrava-Svinov (– Opava Východ) a Grygov – Červenka (8).

## **2.1 CDP Přerov**

Centrální dispečerské pracoviště vzniklo v roce 2006 za účelem koncentrace řízení železniční dopravy na hlavních tratích v rámci Moravy. Důvodem pro tento krok nebyla jen úspora personálních nákladů (snížení personálního stavu řídicích pracovníků o polovinu), nýbrž i potřeba komplexního přehledu pro efektivní řízení provozu vlaků jezdících rychlostmi až 160 km/h.

Jako první byl v tomto roce spuštěn úsek Břeclav – Přerov, který je řízen dvěma traťovými a třemi místními dispečery za pomoci dvou operátorek. Tento úsek obsahuje 15 stanic, stanice Nedakonice je z organizačního hlediska hranicí oblastí traťových dispečerů.

Po úspěšném zkušebním provozu následovala realizace dálkového řízení devíti stanic v úseku mezi Přerovem (kromě) a Polankou nad Odrou (včetně).

Dle (9) od 29. května 2009 řídí tento úsek, zahrnující celkem šest dopravních zaměstnanců – dva traťoví, dva místní dispečeré a dvě operátorky. Celé dálkové ovládání



je koncipováno a realizováno tak, že základní ovládání je v Přerově na CDP a železniční provoz řídí dispečerů pro dálkový provoz. Zařízení umožňuje i předání obsluhy místním dispečerům pro nutnou práci v dopravnách, jako např. pro posun, údržbu či kontrolní činnost na zařízení atd. V nutných provozních případech lze obsluhu předat výpravčím do jednotlivých dopraven a dopravu řídit místně od stanice ke stanici tak, jak tomu bylo před nasazením nové elektronické technologie zabezpečovacích zařízení (9). Organizační hranicí mezi obvody traťových dispečerů je zastávka Jeseník nad Odrou.

Jednou z podmínek provozu vozidel na řízeních tratích je vybavení traťovým rádiovým systémem.

Dle informací SŽDC (10) v současné době probíhá výstavba nové budovy pro CDP Přerov, která bude vyhovovat pro umístění řídicích sálů pro řízení všech zamýšlených tratí na Moravě a ve Slezsku a ústředního stavědla žst. Přerov. Stavba probíhá od 1. 6. 2009 do 31. 12. 2010 v ceně 234 mil. Kč (mimo vybavení řídicích sálů).

## **2.2 Faktory výběru trati**

Efekt Resch. se projeví z energetického i časového hlediska nejmarkantněji na trati s hustým provozem a vysokými přírážkami na rozjezd a zastavení. Tyto jsou způsobeny buď nízkým měrným výkonem nebo vysokými dosahovanými rychlostmi vlaků, vliv mohou mít i nepříznivé sklonové poměry. Vybraný úsek je proto kvůli množství těžkých nákladních vlaků a silně smíšenému provozu velmi vhodný. První traťová kolej mezi Drahotušemi a Prosenicemi se považuje za nejzatíženější v ČR dle hrubých tun za rok.

Generování tras v reálném čase pro ASJC a Resch. vyžaduje co nejaktuálnější a nej přesnější informace o pohybech vlaků. Tyto jsou automaticky generovány elektronickými stavědly, která jsou kvůli dálkové dispečerské centralizaci propojena do sítě a již dnes poskytují na sekundu přesné informace GTN a dalším odvozeným IS. Toto je prospěšné jak pro provedení co nejuvěrnější simulace, tak pro snadnost budoucí implementace zkoumaných systémů.

## **2.3 Modelovaná oblast**

Hranicemi oblasti jsou odjezdová návěstidla staničních kolejí žst. Polom (ve směru Hranice na Moravě), resp. krycí návěstidla odb. Skalka na trati 280 na straně jedné a odjezdová návěstidla žst. Přerov a Dluhonice ve směru na Prosenice na straně druhé. Zahrnutý jsou všechny dopravní staniční a traťové koleje.

Vzhledem k dosavadní (2010) absenci elektronického stavědla v žst. Přerov a Dluhonice jsou pro účely této práce časy vstupu vlaků kvůli požadavku na sekundovou přesnost dopočítávány z událostí „Minutí vj. náv.“ z žst. Prosenice dle nejkratší vypočtené jízdní doby.

Pro vytvoření modelu je vhodné mít v praxi informace o jízdě vlaků s několikaminutovým předstihem. Toto by se v případě aplikace systému mohlo dít na základě událostí ze stanic v blízkosti hranic oblasti (Suchdol nad Odrou či dokonce Studénka, Říkovice, Brodek u Přerova). Zprovoznění elektronického stavědla v Přerově / Dluhonicích bude pro systém přínosné. Pro potřeby diplomové práce byly využity záznamy z Protokolu obsluhy Graficko-technologické nadstavby.

### 3 Rozbor splněného JŘ

Pro účely této práce byla jako vhodný den vybrána středa 21.4. 2010. V tento den se v oblasti nekonala žádná výluka traťové koleje ani žádná jiná, která by významně narušila provoz. Počasí bylo pro železniční provoz příznivé (sucho, mírný vítr).

#### 3.1 Plnění JŘ a vývoj intenzity dopravy během dne

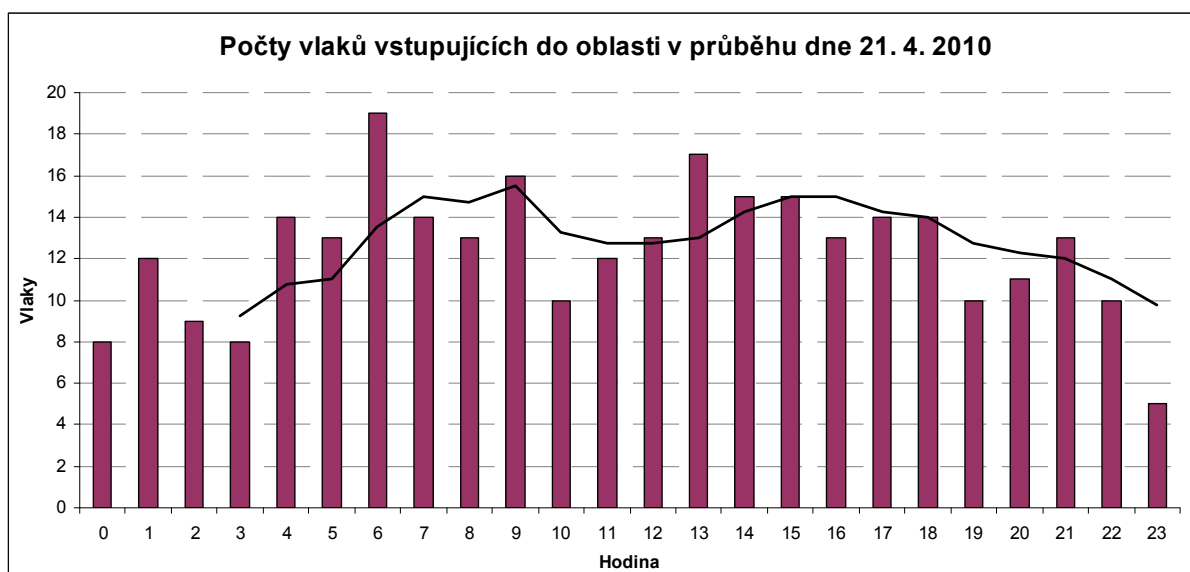
Podrobnější konfrontace událostí z Protokolu obsluhy GTN s jízdním řádem vypovídá o plnění JŘ v tomto dni v osobní dopravě následující:

Tabulka 2 – Skutečné plnění JŘ dne 21. 4. 2010 v modelovaném úseku

Segment dopravy	Počet údajů	Celkové zpoždění [min]	Průměrné zpoždění [min]	Plnění JŘ (do 5 minut)
Dálková	277	1205	4,4	68%
Regionální	107	274	2,6	87%

zdroj: Autor na základě údajů z GTN a SJŘ

Výpočet probíhal na základě událostí „Vjezd“ a „Odjezd“. V případě průjezdu vlaku událost „Odjezd“ odpovídá průjezdu dle SJŘ. V případě vlaku zastavujícího musely být časy událostí z GTN korigovány. Jelikož v SJŘ jsou údaje s přesností na půlminutu, lze provedenou korekci považovat za dostatečně přesnou. Výsledkem v dálkové dopravě je průměrné zpoždění 4,4 minut při plnění jízdního řádu na 68 %, zatímco v regionální 2,6 minut při plnění JŘ na 87 %.



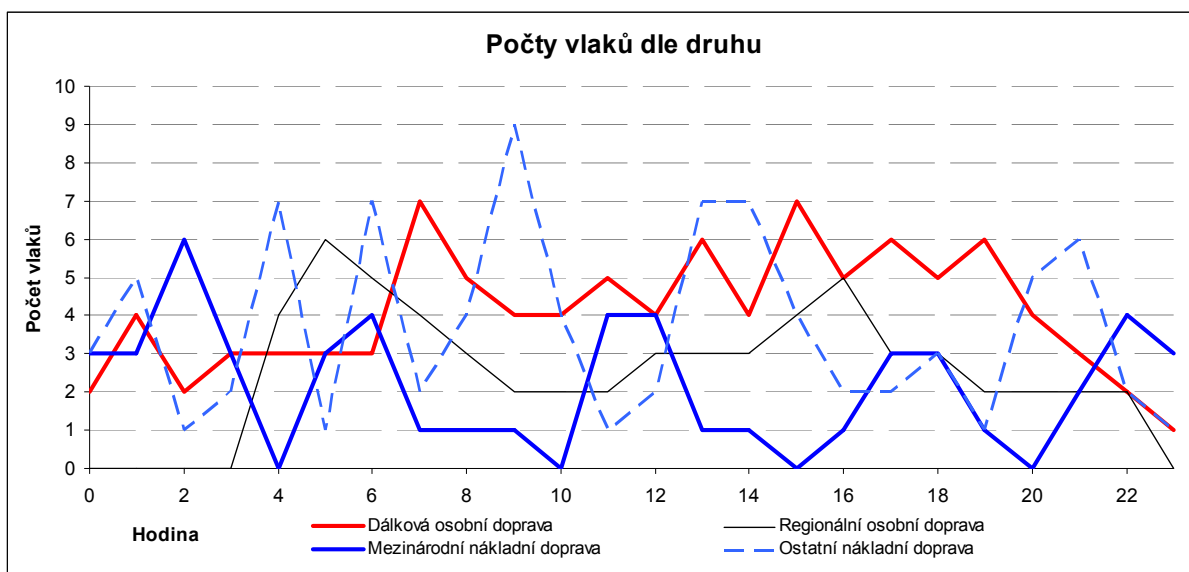
Obrázek 12 – Počty do oblastí vstoupivších vlaků dle hodin dne 21. 4. 2010

Zdroj: Autor, GTN

V průběhu celého dne jelo celkem 298 vlaků, z toho 98 dálkové dopravy, 60 regionální a 140 nákladních a ostatních vlaků, z toho 54 čísla nižšího než 50 000.

Hodinový průměr tak činí 6,2 vlaků na směr, tj. zhruba jeden každých 10 minut. Ne všechny vlaky však jely v celé délce úseku.

Přidaná spojnice trendu je klouzavý průměr přes čtyři hodiny. Tento průměr vede k poznatku, že nejsilnější dopravní špičky se nachází mezi 6. a 10. hodinou (62 vlaků) a 13. – 19. hodinou. V období mezi 13. a 17. hodinou vstupuje do oblasti 60 vlaků, tj. o polovinu více oproti celodennímu průměru. Uvedená časová perioda byla zvolena pro simulační ověření efektů Resch.



Obrázek 13 – Počty vlaků v jednotlivých hodinách dle druhu

Zdroj: Autor, GTN

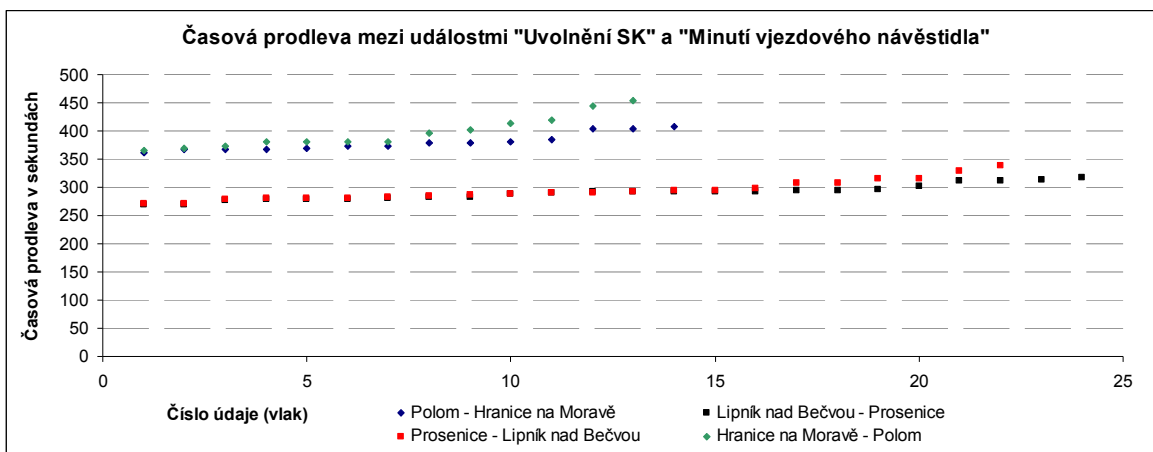
Graf na obrázku 13 znázorňuje rozložení jednotlivých segmentů železniční dopravy během zkoumaného dne. V regionální osobní dopravě je zřejmá ranní a odpolední špička, zatímco dálková osobní doprava probíhá po celý den. Nákladní doprava využívá volnou kapacitu trati v době nižší intenzity osobní dopravy. Období hodin 13 – 17 se vyznačuje slabou mezinárodní nákladní dopravou a relativně vysokým počtem ostatních vlaků čísel nad 50 000. V regionální osobní dopravě pomalu narůstá odpolední špička, v dálkové dopravě je zřejmý dvouhodinový takt v odpolední špičce.

## 3.2 Analýza dob pobytů

Narozdíl od dob jízdy mezistaničním úseku bez zastavení, které se vyznačují nízkou směrodatnou odchylkou, vykazují doby jízdy mezi dvěma událostmi u vlaků, které na koleji zastavují, poměrně velkou směrodatnou odchylkou. Míra odchylek od průměru má vliv na určování potřebné rezervy mezi okny obsazení vlaků. Při požadované pravděpodobnosti navedení závislého vlaku na cílový bod později či ve chvíli změny návěstního znaku (při zvažování dohlednosti) mohou v některých případech vycházet extrémní požadavky na rezervní čas. Bližší rozbor je popsán v následujících kapitolách:

### 3.2.1 Doba mezi událostmi „Uvolnění“ a „Minutí vjezdového návěstidla“ dvou sousedních stanic

Zkoumány byly osobní vlaky v úseku Polom – Hranice na Moravě a v úseku Lipník nad Bečvou – Prosenice. V prvním jmenovaném úseku se nachází zastávka Bělotín, ve druhém zastávka Osek nad Bečvou. Časová prodleva mezi poslední událostí v první stanici úseku a první událostí druhé stanice úseku, obsahující pobyt v mezilehlé zastávce, je znázorněna na grafu na obrázku 14:



Obrázek 14 – Doba mezi uvolněním SK v první stanici a minutím vjezdového návěstidla v následující stanici v případě, že se v úseku nachází zastávka u všech Os vlaků Zdroj: Autor

Z grafu je patrné, že největší nejistota kolem doby jízdy vlaku v mezistaničním úseku bude při daném souboru v panovat kolem Os vlaků v úseku Hranice na Moravě – Polom.

Podrobnější statistické šetření je v tabulce 3:

**Tabulka 3 – Vyhodnocení souboru osobních vlaků v úsecích s mezilehlou zastávkou, časové údaje v sekundách**

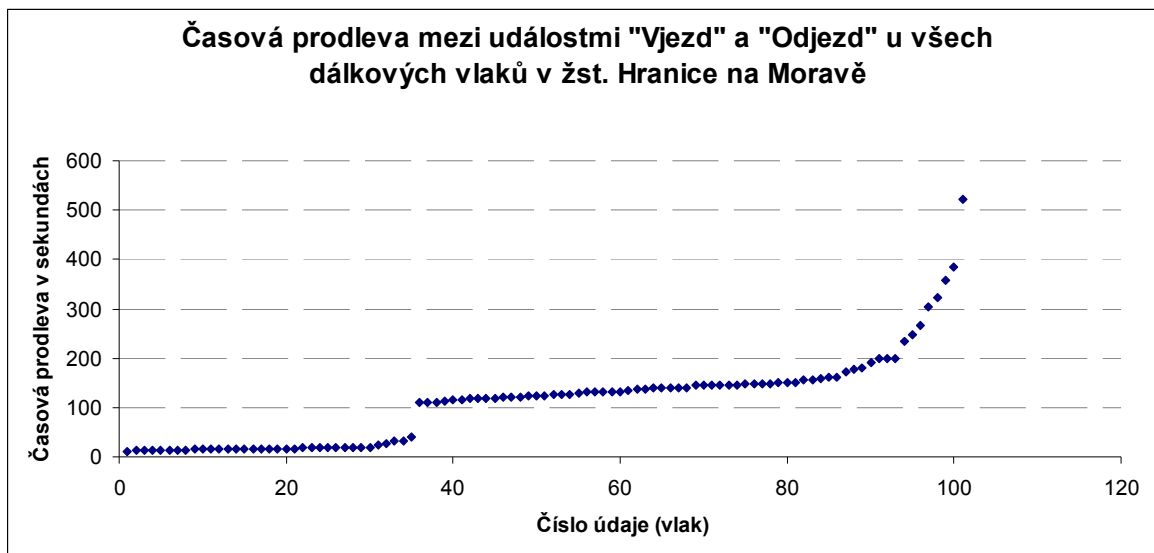
<b>21.4.2010</b>	<b>Polom - Hranice na M.</b>	<b>Hranice na M. - Polom</b>	<b>Lipník n. B. - Prosenice</b>	<b>Prosenice - Lipník n. B.</b>
počet vlaků	14	13	24	22
minimum	361	365	270	271
10%	361	365	270	271
20%	367	374	279	280
průměr	380	397	291	294
medián	374	381	292	290
80%	385	413	297	308
90%	404	445	312	316
maximum	407	453	317	338
max-min	46	88	47	67
průměr - 10 %	19	32	21	23
průměr - 20 %	18	39	18	28
<b>80 % - průměr</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>14</b>
90 % - průměr	24	48	21	22
Šířka pásma 20 - 80 %	18	39	18	28
Šířka pásma 10 - 90 %	43	80	42	45
sm. odchylka	14	27	13	17

**Zdroj: Autor**

Z tabulky 3 je pro následující situaci nejdůležitější řádek tučným písmem: Na jízdě Os vlaku je závislý další vlak, který je naváděn na cílový bod před kritickým místem konfliktu s Os vlakem jedoucím ve zkoumaném úseku. Při určování cílového času cílového bodu je potřeba určit rezervu pro případné opoždění Os vlaku v mezistaničním úseku. Při požadavku 80% jistoty, že závislý vlak nebude na cílový bod naveden předčasně, činí rezerva k průměrné jízdě Os vlaku např. v případě úseku Polom – Hranice na Moravě 5 sekund. Nejhorší je situace v tomto úseku v opačném směru, kde činí 16 sekund.

### 3.2.2 Doba mezi událostmi „Vjezd“ a „Odjezd“ v rámci stanice

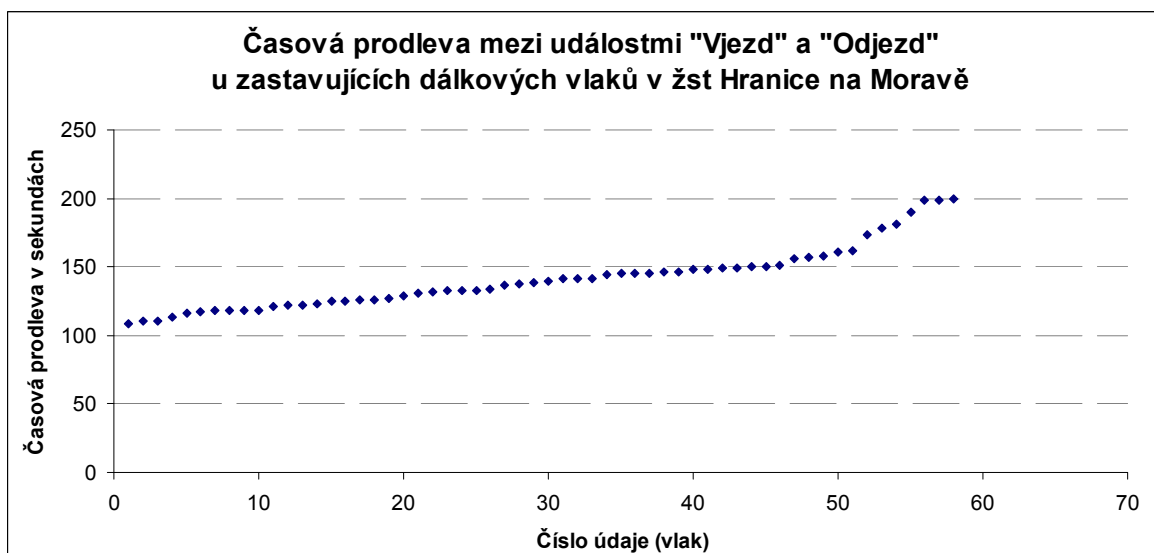
První graf zahrnuje všechny vlaky dálkové dopravy (zde do čísla vlaku 1 000) během jednoho dne ve stanici Hranice na Moravě. Osobní vlaky nebyly zahrnuty kvůli různosti dob pobytu dle JŘ.



Obrázek 15 – Doba mezi vjezdem a odjezdem ze staniční koleje.

Zdroj: Autor, GTN

Spoje projíždějící či s extrémně dlouhým pobytém (8 vlaků) byly vyřazeny ze souboru a blíže byla zkoumána jen množina 58 vlaků na obrázku 16:



Obrázek 16 – Doba mezi vjezdem a odjezdem ze staniční koleje u vybraných vlaků dálkové dopravy.

Zdroj: Autor, GTN

V tabulce 4 (na následující straně) je soubor popsán blíže. Je-li akceptovatelná pravděpodobnost pozdního uvolnění prvku 20 %, musí být rezerva u takto se chovajícího souboru vlaků 12 sekund, jak je patrné ze zvýrazněného řádku v tabulce 4. V oněch

20 % případů neúspěšné předpovědi je předpoklad, že závislý vlak o rychlosti nižší než 120 km/h bude pokračovat nejméně dalších 12 sekund (dohlednost) v jízdě, než začne brzdit. V případě, že naváděnému vlaku nebude moci být zavčasu postavena další jízdni cesta, je především při absenci kvalitního VZ nutné, aby byl strojvedoucí systémem zřetelně upozorněn na skutečnost, že očekávání modelu tentokrát nebylo naplněno.

**Tabulka 4 – Vyhodnocení souboru vybraných dálkových vlaků**

Kvantil	Pozice v souboru	Prodleva mezi událostmi [s]	Charakteristika doby pobytu	Hodnota [s, ks]	Charakteristika doby pobytu	Rozdíl [s]
10%	6.	117	sm. odchylka	44	průměr - 10 %	22
20%	12.	122	průměr	38	průměr - 20 %	29
průměr		139	minimum	11	<b>80 % - průměr</b>	<b>12</b>
medián	29.	139	maximum	132	90 % - průměr	34
80%	46.	151	max-min	121	šířka pásma 20 - 80 %	29
90%	52.	173	počet vlaků	58	šířka pásma 10 - 90 %	56

**Zdroj: Autor**

Pokud by byla vyžadována jistota, že závislý vlak neprojde cílový bod (při započtení eventuální dohlednosti) dříve, rovna 90 %, byla by potřebná rezerva 34 sekund, což by silně degradovalo smysluplnost Resch.

### 3.2.3 Závěr

Potřebné rezervy snižují jak pozitivní přínos Resch., tak kapacitu trati. Jak v případě pobytů dálkových vlaků v Hranicích na Moravě, tak v případě osobních vlaků v zastávkách na trati vychází ve sledovaném dni při požadované 80% jistotě potřebná rezerva k průměrné době mezi událostmi předcházejícími a následujícími pobyt vlaku zhruba 10 – 12 sekund. Zvyšování jistoty vede k silnému růstu rezerv, což degrduje výhodnost Resch.

Nižších potřebných rezerv by šlo dosáhnout sledováním konkrétních vlaků v konkrétních dnech v týdnu v závislosti na různých dalších faktorech, což je nad rámec této práce.

Další možností je získávání dodatečné informace o jízdě vlaků v mezistaničním úseku buď prostřednictvím GPS nebo informacemi z úseků KO automatického bloku.



## 4 Posouzení možných zlepšení vlivem Reschedulingu

Pro ověření možných přínosů aplikace Resch. bylo zvoleno porovnání dvou simulací železničního provozu: První bez jakýchkoli algoritmů Resch. pro nastavení prostředí dle skutečných událostí z GTN a druhá s algoritmy Resch. Přínos Resch. byl poté určován z rozdílu zpoždění a spotřeby energie simulace bez Resch. a s Resch.

V obou variantách simulace provozu (s Resch. i bez něj) je generován matematický model jízdního řádu vlaků, které se v oblasti budou vyskytovat v následujících dvaceti minutách. Do simulace bez Resch. vstupují informace o kalkulovaných jízdních cestách, do simulace s Resch. je jízda vlaků navíc omezována dle informací o fázi jízdy úseku a cílové rychlosti na konci úseku.

Zahrnuty jsou vlaky, které dne 21. 4. 2010 vstoupily do oblasti v období 13:00 – 16:45. Vlaky, které jedou od Polomi přes Hranice na Moravě úvratí do Odb. Skalka a naopak, popř. v Hranicích na Moravě od Odb. Skalka končí, byly součástí simulace, aby skutečně blokovaly koleje jako ve skutečnosti, ale pro krátkost své trasy nejsou součástí vyhodnocení.

### 4.1 Nastavení simulace

#### 4.1.1 Role událostí z GTN

Vlaky do oblasti vstupují v momentu události „Odjezd“ v některé z hraničních stanic. Poté již jejich jízda není událostmi korigována, neboť jak s Resch, tak bez něj může matematický model přiřadit vlakům jiné koleje, přeložit křižování či zcela jinak vyřešit dopravní situaci než tomu bylo ve skutečnosti. To je jedním z hlavních důvodů, proč bylo rozhodnuto porovnávat nikoli skutečnost se simulací Resch., nýbrž simulaci Resch. se simulací bez Resch.

#### 4.1.2 Pobyty ve stanicích a zastávkách

V oblasti pobytů vlaků ve stanicích má model obecně zadán čas příjezdu, odjezdu a nejkratšího možného pobytu. Simulační model pracuje s dobou „dnešního“ pobytu získanou z rozboru událostí GTN. Matematický model předvídá dobu odjezdu vlaku ze stanice bez znalosti „dnešního“ pobytu. Tímto jsou imitovány i v pozdější praxi vyskytující se odchylky matematického modelu od skutečnosti. U vlaků nákladní dopravy byly pobyty vypuštěny zcela, neboť velká většina byla z dopravních důvodů a v případě pobytů pro výměnu

strojvedoucích či výměnu zátěže je nad rámec práce odlišení přepravní a dodatečné dopravní části pobytu.

#### **4.1.3 Poměrný tah**

Vlaky při rozjezdu využívají jen 7/12 maximální tažné síly až do 100 % výkonu. Simulační model počítá i s pro různé druhy vlaků odlišně definovaným ryvem (derivace zrychlení podle času). Vlaky tak, stejně jako ve skutečnosti, plynule odbrzdí před dosažením cílové rychlosti a brzdny účinek rovněž nabíhá postupně.

#### **4.1.4 Moment ukončení konce rozjezdu a začátku výběhu**

Problém momentu přechodu vlaku mezi jednotlivými fázemi jízdy je v simulačním modelu řešen jako zadaná časová konstanta. Vlak se rozjíždí, dokud má vzdálenost k bodu nutného začátku brzdění delší než 64 sekund (u vlaků os. dopravy 32 s) jízdy aktuální rychlostí. Vlak zadává výběh ve chvíli, kdy se tato vzdálenost zkrátí na méně než 48 sekund (u vlaků os. dopravy 24 s) doby jízdy aktuální rychlostí. Pro účely simulačního modelu byly určeny jako kvalifikovaný odhad autora, částečně odpovídají době jízdy v posledním jednom až dvou prostorových oddílech.

Tyto doby jsou ve skutečnosti velmi individuální a silně ovlivňují důsledky konfliktů tras vlaků. Při aplikaci systému bude nutné podrobněji zkoumat chování strojvedoucích, např. prostřednictvím záznamů GPS. Chování může záviset například na základě zpoždění, jméne strojvedoucího, doby do konce směny, předchozích událostech, počasí, atd. Tato data jsou již nyní z některých hnacích vozidel k dispozici.

#### **4.1.5 Tvorba matematického modelu a jeho vliv na základní simulaci**

Matematický model vypočítává jednotlivé fáze jízdy na základě vzdálenosti do cíle, aktuální rychlosti a zbývajícího času do cílového bodu. Tato data poskytuje základní simulace. Pro výpočet nejkratší jízdní doby je použit algoritmus „stoupající hladiny rychlosti“ popisovaný Dr. Myslivcem, pro výpočet výběhů a údolí autorovy iterativní algoritmy. Cílovým bodem jsou dopravní body, u vlaků osobní dopravy i zastávky. Matematický model při aktivovaném navádění vlaků dává informace vlakům k přechodu do jízdy, výběhu či dokonce brzdění včetně cílové rychlosti na konci úseku. Vlaky poté respektují více restriktivní informaci, tzn. když matematický model ještě nepřikazuje jízdu konstantní rychlosti, zatímco vlaku již k místu nutného začátku brzdění zbývá méně než 64 (32) sekund, pojedou vlaky konstantní rychlostí. Takto je modelován v budoucí praxi vyskytující se rozpor mezi chováním strojvedoucího a příkazy Resch. Toto může nastat např. v situaci, kdy již běží

doba ke stavění vlakové cesty, vlak se ještě nachází dále než na oddíl a dohlednost před kryjícím návěstidlem a dle Resch. by se měl rozjíždět či udržovat rychlost, ale strojvedoucí má přinejmenším dle návěstního opakováče informaci o blížící se výstraže.

## 4.2 Validace modelu

Pro ověření věrohodnosti byly použity dvě metody:

- Konfrontace událostí z protokolu obsluhy GTN ze dne 21. 4. 2010 s odpovídajícími událostmi generovanými simulací,
- jízdy vlakem při současném běhu simulace jeho jízdy na notebooku.

Ukázka úspěšné konfrontace modelu bez Resch. se skutečnými událostmi je patrná z tabulky 5:

**Tabulka 5 – Příklad konfrontace modelu vlaku R739 s událostmi z GTN**

<b>Vlak R739</b>		Čas události dle		Odchylka [s]	Změna odchylky [s]
Stanice	Číslo události	GTN	simulace		
Pr	1	14:55:57	14:56:05	8	
Pr	2	14:56:29	14:56:40	11	3
Pr	3	14:56:50	14:57:03	13	2
Pr	4	14:56:56	14:57:08	12	-1
Li	1	15:00:11	15:00:21	10	-2
Li	2	15:00:43	15:00:51	8	-2
Li	3	15:01:02	15:01:08	6	-2
Li	4	15:01:09	15:01:14	5	-1
Dr	1	15:04:31	15:04:33	2	-3
Dr	2	15:04:55	15:05:01	6	4
Dr	3	15:05:14	15:05:17	3	-3
Dr	4	15:05:20	15:05:22	2	-1
Hr	1	15:07:13	15:07:14	1	-1
Hr	2	15:07:39	15:07:41	2	1
Hr	3	15:10:16	15:10:17	1	-1
Hr	4	15:10:26	15:10:32	6	5

**Zdroj: Autor**

Zkratky stanic jsou dle prvních dvou písmen názvů žst. Prosenice, Lipník nad Bečvou, Drahotuše a Hranice na Moravě. Čísla událostí odpovídají číslování uvedenému v kapitole 1.2.1 Zprávy o změně obsazenosti kolejových obvodů. Odchylky a změny odchylek naznačují, že model odráží skutečnost natolik dobře, že při jízdě vlakem při zároveň běžící simulaci lze například rozpoznat, zdali vlak jede podle „horních“ nebo „spodních“ rychlostníků.

### 4.3 Případy Reschedulingu během simulace

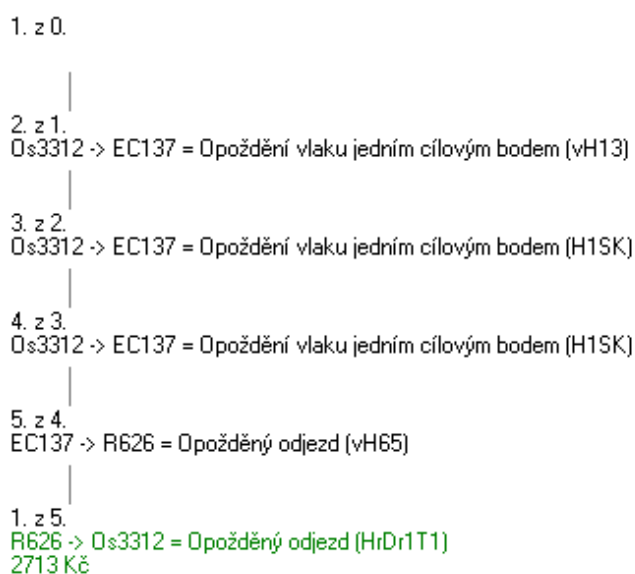
Pro demonstraci možnosti automatického generování stromů scénářů a způsobu řešení konfliktních situací Resch. byly ze simulovaného období vybrány dvě zajímavé situace. Nejdříve je vhodné vysvětlit zobrazení stromu řešení dopravní situace:

#### 4.3.1 Zobrazení stromu řešení

Pro vysvětlení v příštích kapitolách používaného stromu řešení budiž uveden příklad vygenerovaný simulací v 15:28:00 za 282 milisekund.

Názvy prvků musí být v autorově modelu unikátní. Úseky automatického bloku se nazývají dle dvou počátečních písmen názvů krajních stanic úseku, čísla úseku a čísla koleje. Názvy staničních kolejí začínají počátečním písmenem názvu stanice, u výhybek předchází písmeno v.

Každé dva až tři řádky reprezentují jeden scénář. Scénáře se vytváří postupně a kromě základního vždy z nějakého předchůdce. První řádek (1. z 0.) znamená o kolikátý scénář se jedná a z kolikátého vznikl. 1. z 0 je počáteční řešení složené ze základních tras vlaků (popř. jejich lepších variant). Druhý řádek obsahuje informaci „který vlak změnil trasu kterému vlaku“, jakým způsobem byl vyřešen konflikt a který prvek byl konfliktní. V prvním scénáři byl nalezen konflikt základních tras vlaků 137 a 3312 na výhybce 13 v Hranicích na Moravě, který byl vyřešen vytvořením cílového bodu pro vlak 137 u posledního návěstidla automatického bloku ve scénáři 2.



Obrázek 17 – Ukázka jednoduchého stromu řešení

Zdroj: Autor

Zeleně je znázorněn výsledný scénář. V tomto případě se jedná o první bezkonfliktní scénář vytvořený z pátého. Součet cen trakční energie a nákladů času cestujících tras všech

vlaků činí 2713 Kč. Pokud by bylo vytvořeno více bezkonfliktních scénářů, budou tyto kromě nejlevnějšího zobrazeny modře.

#### **4.3.2 Vlak EC 137 za Os 3312**

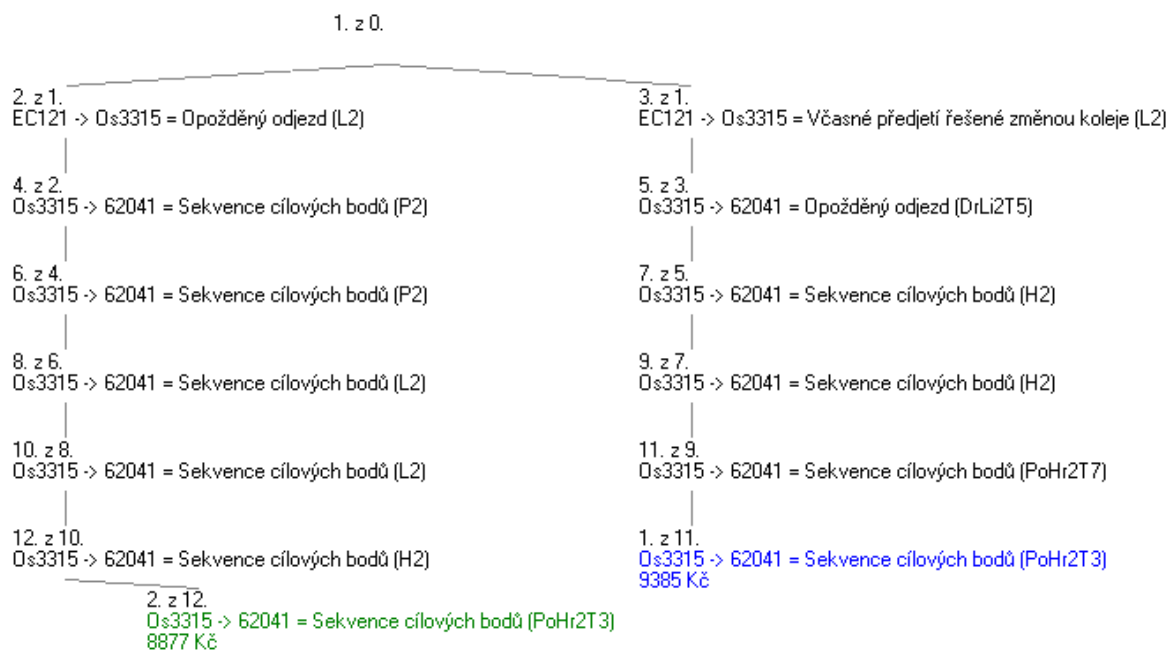
Vlak Os 3312 vstupuje do oblasti v 15:22:41 se zpožděním 374 sekund. Již za 2 minuty a 46 sekund, tj. v 15:25:27, projíždí odjezdové návěstidlo žst. Polom i vlak EC 137. Dle instrukce Resch. vlak po několika sekundách začíná brzdit na rychlost 85 km/h. Pro nalezení alespoň nějakého bezkonfliktního scénáře došlo k tomuto razantnímu zásahu. Kromě toho muselo být i povoleno překrytí časových oken tras vlaků 3312 a 137. Z tohoto důvodu po brzdění následuje dlouhý výběh vlaku 137 až na 47 km/h pro zamezení plýtvání energií na rozjezd při překrytých oknech obsazení. Poté následuje rozjezd na plnou rychlost. Na čase uvolnění vzdalovacího úseku žst. Hranicemi na Moravě vlakem EC 137 závisí i odjezd vlaků R 626 a opět i vlaku Os 3312. Zprávy vlakové četě o blízcím se momentu postavení vlakové cesty pro urychlení odjezdu vlaků 626 a 3312 nebyly modelovány.

#### **4.3.3 Vlak Pn 62 041 za Os 3315**

Tento případ Resch. dokázal při daném nastavení porovnávaných simulací ušetřit 100 kWh, tj. zhruba 260 Kč. Odjezd Pn 62 041 z oblasti se tímto oddálil o 37 sekund. Hmotnost vlaku 62 041 je 826 tun, typ jízdního odporu S, hnací vozidlo ř. 363.

Oba vlaky mají společnou celou trasu od Přerova až do Polomi. Ve 13:59:40 vstupuje do oblasti vlak Os 3315, vlak Pn 62 041 vstupuje v 14:05:55. Jízdní řád je kalkulován ještě s dalšími čtyřmi vlaky, z toho konflikt nastává s vlakem EC 121 jedoucím z Dluhonic do Odb. Skalka. Při tomto konfliktu se strom rozvětví na předjetí Os. vlaku až v Lipníku a opoždění Os již v Prosenicích. Pro obě větve jsou řešeny a vyvstávají stále nové konflikty vlaku 3315 s 62 041. V obou větvích je nalezeno bezkonfliktní řešení, jedno za 8 877 Kč a druhé za 9 385 Kč (cena energie a výstupního zpoždění všech šesti vlaků). Proto je vybrána větev obsahující opoždění Os 3315 již v Prosenicích. V tomto řešení je na trase vlaku 62 041 celkem 6 cílových bodů, z toho ale jen tři jsou nakonec směrodatné pro navádění vlaku – navádění na zbylé tři by vlak natolik urychlilo, že by znemožnilo navedení na jiný bod.

Strom řešení je patrný z obrázku 18:



**Obrázek 18 – Strom řešení dopravní situace počítaný ve 13:56:00, tj. před vstupem řešených vlaků do oblasti**

**Zdroj: Autor**

V průběhu vývoje dopravní situace se časy, popř. i polohy cílových bodů mění především dle skutečné jízdy všech vlaků, především Os 3315. Ten má pro účely simulace určen „dnešní“ pobyty odchylné od těch, které předpokládá matematický model, tj. podle kterých je naváděn vlak 62 041.

Nejvíce omezující jsou pobyty Os vlaku. Cílové body jsou tedy velmi často u posledního návěstidla autobloku, tj. na prvcích LiPr2T3, DrLi2T2, HrDr2T3, popř. před zastávkou Osek nad Bečvou na P2 a před zastávkou Bělotín na úseku koleje PoHr2T5. Mnoho z těchto bodů přestalo být směrodatných dříve, než je vlak dosáhl, tyto body mají údaje v tabulce 6 šedě.

Z tabulky 6 je patrné, že vlak je i přes nepřesnost algoritmů naveden relativně přesně na čas směrodatného cílového bodu, přičemž je dodržena dohlednost (12 sekund). V době se nachází i rezerva (5 s), nepřesnost předpovědi doby stavění JC (žádná představovaná výhybka, tj. jen 7 místo 18 sekund). Aktuální poloha vlaku byla matematickým modelem usuzována ze simulačního modelu, neboť ten je jeho platformou. Je tedy nutné, aby simulační model co nejlépe zrcadlil chování strojvedoucího.

Nutno podotknout, že matematický model má v provedené simulaci informaci o počátku rozjíždění vlaku zhruba o 45 sekund dříve, než by ji měl Resch. ve skutečnosti na základě obsazení KO Os vlakem za odjezdovým návěstidlem. Pn vlak měl v tuto chvíli

rychlost 71 km/h, při prodlužování doby pobytu Os 3315 stihne do chvíle postavení vjezdové cesty výběhem snížit rychlost na 65 km/h. Směrodatný cílový bod ale již byl v tuto chvíli určen pobyt Os v Hranicích na Moravě.

**Tabulka 6 – Rozhodující cílové body během jízdy Pn 62 041**

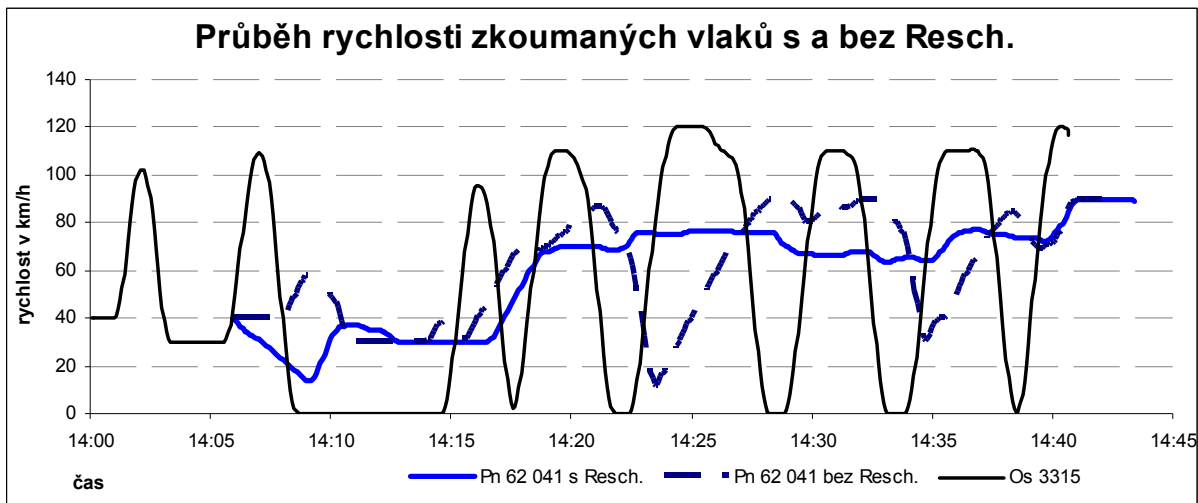
Místo CB	Čas CB	Postaveno	Projetí CB	Doba výstraha -> volno až projetí kolem předvěsti kryjícího návěstidla [s]	Modelem očekávaný pobyt	Skutečný pobyt
P2	14:18:25	14:15:30	14:16:48	78	10	14
LiPr2T1	14:23:50	14:24:26	14:24:43	17		
LiPr2T1	14:23:57	14:24:26	14:24:43	17		
LiPr2T3	14:23:37	14:23:17	14:23:36	19		
LiPr2T3	14:23:41	14:23:17	14:23:36	19	60	60
DrLi2T2	14:29:15	14:29:44	14:30:26	42		
LiPr2T1	14:24:42	14:24:26	14:24:43	17		
HrDr2T3	14:33:57	14:34:35	14:35:02	27	15	58
HrDr2T1	14:34:28	14:35:03	14:35:57	54		
DrLi2T2	14:30:07	14:29:44	14:30:26	42		
HrDr2T1	14:35:18	14:35:03	14:35:57	54		
HrDr2T3	14:36:22	14:34:35	14:35:02	27		
HrDr2T3	14:35:01	14:34:35	14:35:02	27	60	64
PoHr2T5	14:39:28	14:39:16	14:39:34	18	15	23

**Zdroj: Autor**

Přesto by ve skutečnosti pravděpodobně došlo k průjezdu Pn vlaku cílovým bodem před Drahotušemi dříve, než je vhodné. Resch. by začal upravovat trasu Pn vlaku až 45 s po domnělém odjezdu osobního vlaku. Strategie při odhadování zpoždění v takových případech se může odvíjet od statistického sledování minulých podobných případů. Je vhodné, aby byl vlaku systémem Resch. nařízen výběh a po určitém čase neuvolnění kritické koleje vygenerováno náhradní řešení, popř. aby bylo požádáno o zásah obsluhy.

Z následujícího porovnání dvou způsobů jízdy nákladního vlaku je zřejmé, že by Resch. mohl přispět k mnohem vyšší plynulosti a hospodárnosti jízdy nákladních vlaků. Spolehlivější data by ale přinesla až měření konkrétního průběhu jízdy např. dle GPS, popř. rychloměrných proužků.

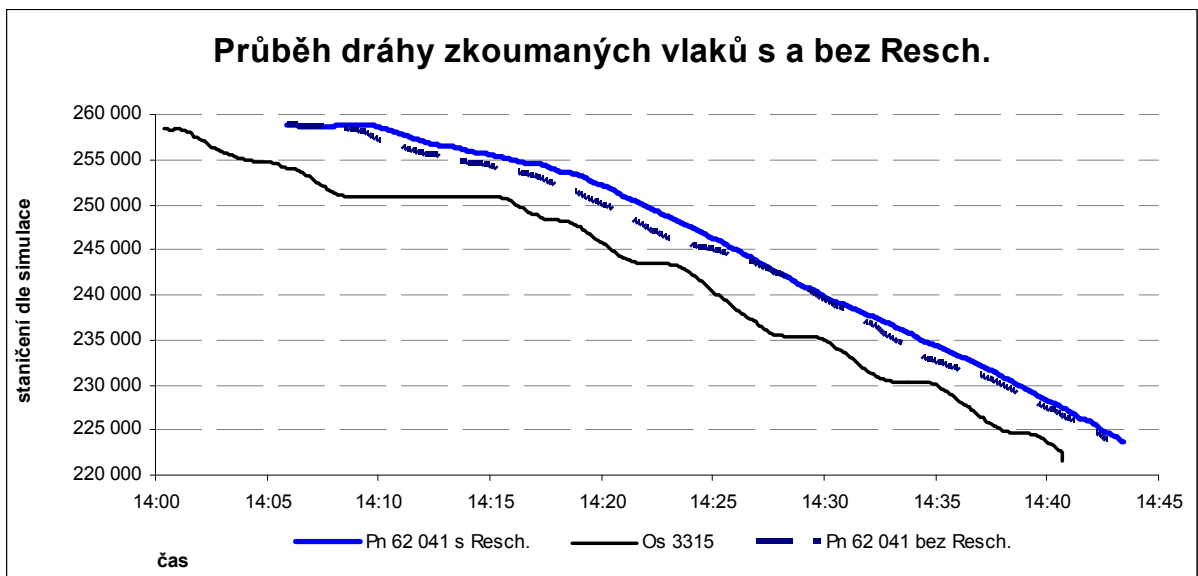
Na obrázcích 19 a 20 je znázorněna jízda zkoumaných vlaků v simulacích. Na obrázku 20 je dokázáno, že ofenzivním stylem jízdy za pomalejším vlakem nedojde k přílišnému zkrácení jízdni doby.



Obrázek 19 – Porovnání rychlosti jízdy vlaků s a bez zásahů Resch.

Zdroj: Autor

Naproti tomu si lze povšimnout tří „dojezdů“ osobního vlaku, a to v Prosenicích, Lipníku a Hranicích na Moravě, tj. v každé druhé stanici či zastávce, neboť následný rozjezd způsobí takové zpoždění, že Os vlak stihne „ujet“ o dvě stanice či zastávky dále.



Obrázek 20 – Porovnání průběhu jízdy vlaků s a bez zásahů Resch.

Zdroj: Autor



## 4.4 Výsledky simulace

Hlavními výstupy je porovnání výsledků simulace bez Resch. se simulací s Resch. v oblasti zpoždění vlaků (tj. ceny ztraceného času cestujících) a spotřeby mechanické práce zvláště pro vlaky osobní dopravy dálkové, regionální a nákladní.

### 4.4.1 Dálková osobní doprava

Z tabulky 7 je patrné, že u 22 vlaků dálkové dopravy došlo v obou případech ke snížení sumy výstupního zpoždění z oblasti, a to o 580, resp. 352 sekund. Přínos Resch. tedy činí -228 sekund. Při ceně jedné hodiny času cestujícího 90 Kč (viz kapitola 1.5 Kritérium vhodnosti scénáře) tak dle sčítání cestujících z dubna 2009 činí ztráta pro cestující způsobená Resch. zhruba 700 Kč.

Tabulka 7 – Výsledky simulačního ověření vlivu Resch. na zpoždění vlaků dálkové dopravy

Vlak	Vstupní zpoždění [s]	Výstupní zpoždění [s]		Změna zpoždění [s]		Přínos Resch. ve snížení výstupního zpoždění [s]
		bez Resch.	s Resch.	bez Resch.	s Resch.	
102	421	411	412	-10	-9	-1
110	1 646	1 601	1 606	-45	-40	-5
111	-70	0	0	70	70	0
120	902	841	844	-61	-58	-3
121	73	0	13	-73	-60	-13
137	153	209	250	56	97	-41
142	633	575	580	-58	-53	-5
147	124	115	117	-9	-7	-2
505	121	114	119	-7	-2	-5
507	-13	-19	13	-6	26	-32
508	153	243	243	90	90	0
510	137	79	80	-58	-57	-1
626	121	65	129	-56	8	-64
629	180	221	239	41	59	-18
738	192	115	119	-77	-73	-4
739	1 589	1 540	1 540	-49	-49	0
740	350	272	283	-78	-67	-11
741	1 334	1 268	1 268	-66	-66	0
837	368	313	313	-55	-55	0
838	382	373	376	-9	-6	-3
839	1 524	1 434	1 435	-90	-89	-1
840	-6	-36	-17	-30	-11	-19
<b>Celkem</b>	<b>10 314 s</b>	<b>9 734 s</b>	<b>9 962 s</b>	<b>-580 s</b>	<b>-352 s</b>	<b>-228 s</b>

Zdroj: Autor

Největší časová ztráta způsobená Resch. je bohužel způsobená pokusem o snížení přeneseného zpoždění z vlaku Os 3312 na vlak EC 137 před postupným vjezdem

do žst. Hranice na Moravě. Tento vlak nejen že s pomocí Resch. nedosáhl cíle dříve, ale i způsobil zpoždění R 626 a zpět i Os 3312, jak patrně z tabulky 7.

Největší přínos z energetického hlediska má optimalizace jízdy vlaku svými důsledky podobná té, kterou již mnoho let na českých železnicích provádí Optimalizátor jízdy vlaku systému AVV. Resch. v této oblasti nabízí jakési kvazi-AVV, tj. asistenční systém, v němž není poloha vlaku zjišťována vlakem, ale stavědlem a optimalizační výpočty neprovádí palubní počítač, nýbrž počítač Resch.

Případ navedení vlaku 137 jedním cílovým bodem přinesl energetickou úsporu ve výši 124 Kč při nákladech ztraceného času cestujícími ve třech dotčených vlacích téměř 500 Kč.

**Tabulka 8 – Energetická bilance Resch. u zkoumaných vlaků dálkové osobní dopravy**

Vlak	Spotřeba mechanické energie [kWh]		Přínos Resch ve snížení spotřeby energie [kWh]	Relativní snížení spotřeby	Cena ušetřené energie [Kč]	Důvod
	bez Resch.	s Resch.				
102	477	478	-1	0%	-1 Kč	
110	387	388	-1	0%	-3 Kč	
111	658	605	53	8%	137 Kč	OJV
120	272	272	0	0%	-1 Kč	
121	484	450	34	7%	88 Kč	
137	273	225	48	18%	124 Kč	Opoždění 1 CB
142	337	339	-1	0%	-3 Kč	
147	564	566	-2	0%	-5 Kč	
505	425	428	-3	-1%	-8 Kč	
507	411	387	24	6%	62 Kč	OJV
508	136	139	-4	-3%	-10 Kč	
510	220	223	-3	-1%	-8 Kč	
626	267	265	2	1%	5 Kč	
629	418	423	-5	-1%	-13 Kč	
738	313	310	3	1%	8 Kč	
739	519	519	-1	0%	-1 Kč	
740	397	395	-9	-2%	-23 Kč	
741	519	518	1	0%	1 Kč	
837	519	519	-1	0%	-1 Kč	
838	321	312	9	3%	23 Kč	
839	519	518	0	0%	1 Kč	
840	311	331	-20	-6%	-51 Kč	
<b>Celkem</b>	<b>8 744 kWh</b>	<b>8 610 kWh</b>	<b>123 kWh</b>	<b>1%</b>	<b>321 Kč</b>	

**Zdroj: Autor**

Celková energetická úspora u vlaků dálkové osobní dopravy činí 321 Kč, což je zhruba jedno procento nákladů na trakční energii. Po odečtení 700 Kč nákladů cestujících tak Resch. v modelovaném období působí v dálkové dopravě ztrátu 379 Kč.

Pokud by se Resch. využilo pouze pro prostou optimalizaci JD, činila by cena ušetřené energie 287 Kč (pouze vlaky 111 a 507 při 13 sekundách zpoždění vlaku 507 vlivem

nedokonalosti použitých algoritmů) a cena času cestujících v odpolední špičce dosti vytíženého vlaku 74 Kč. Výsledný efekt by tak byl přínos 213 Kč, tzn. 9,68 Kč/vlak.

#### 4.4.2 Regionální osobní doprava

Osobní vlaky jsou Resch. téměř neřízené, neboť nevyvstala potřeba zásahů do jejich jízdy, popř. jejich cílová rychlost byla tak nízká, že by zásah jistě vedl k silnému prodloužení jízdní doby (např. Os 3312 před vjezdem sníženou rychlostí do žst Hranice na Moravě po vlaku 147) proto u nich nelze pozorovat zdatelná změna zpoždění. Cena ztraceného času cestujících činí řádově 100 Kč.

**Tabulka 9 – Výsledky simulačního ověření vlivu Resch. na zpoždění vlaků regionální dopravy**

Vlak	Vstupní zpoždění [s]	Výstupní zpoždění [s]		Změna zpoždění [s]		Přínos Resch. ve snížení výstupního zpoždění [s]
		bez Resch.	s Resch.	bez Resch.	s Resch.	
3209	32	110	118	78	86	-8
3210	-9	39	43	48	52	-4
3211	332	126	128	-206	-204	-2
3227	117	0	0	-117	-117	0
3310	254	56	57	-198	-197	-1
3312	375	9	24	-366	-351	-15
3314	157	93	95	-64	-62	-2
3315	105	157	163	52	58	-6
3317	176	350	351	174	175	-1
3342	48	152	154	104	106	-2
<b>Celkem</b>	<b>1587 s</b>	<b>1092 s</b>	<b>1133 s</b>	<b>-495 s</b>	<b>-454 s</b>	<b>-41 s</b>

Zdroj: Autor

Energetický přínos v osobní dopravě činí 152 Kč. Takto nízké číslo je dáno jednak malým počtem vlaků, jednak jejich nízkou hmotností a zpožděním vylučujícím optimalizaci jízdy výběhem dle vzoru AVV. Nastalé konflikty většinou nejsou za jízdy vlaku a jejich řešením je oddálení odjezdu na trať dle času uvolnění vzdalovacího úseku.

**Tabulka 10 – Energetická bilance Resch. u vlaků regionální osobní dopravy**

Vlak	Spotřeba mechanické energie [s]		Přínos Resch ve snížení spotřeby energie [kWh]	Relativní snížení spotřeby	Cena ušetřené energie [Kč]
	bez Resch.	s Resch.			
3209	397	394	3	1%	9 Kč
3210	338	324	15	4%	38 Kč
3211	140	139	2	1%	5 Kč
3227	397	395	2	0%	4 Kč
3310	362	356	5	1%	14 Kč
3312	358	345	12	3%	32 Kč
3314	429	425	4	1%	10 Kč
3315	491	485	5	1%	14 Kč
3317	485	480	5	1%	14 Kč
3342	334	328	5	2%	14 Kč
	<b>3730 kWh</b>	<b>3672 kWh</b>	<b>59 kWh</b>	<b>2%</b>	<b>152 Kč</b>

Zdroj: Autor

Ekonomický efekt Resch. tedy u vlaků regionální osobní dopravy činí v modelovaném období  $152 - 58 = 94$  Kč. V případě nepřenesení zpoždění na Os 3312 od vlaku 137 dokonce  $152 - 44 = 108$  Kč, což činí 10,80 Kč na jeden vlak.

#### 4.4.3 Nákladní a ostatní doprava

Ve sledovaném období projelo oblastí 10 vlaků nákladní dopravy a dva ostatní lehké vlaky (lokomotivy či traťové stroje). Průměrná hmotnost nákladních vlaků činí 1 064 tun, průměrná hmotnost všech 12 vlaků 880 tun. Seznam nákladních vlaků je v tabulce 11:

Tabulka 11 – Nákladní vlaky v simulaci

Vlak	Kategorie	Hmotnost	Hnací vozidlo	Délka	Typ jízdního odporu
40 703	NEx	862	363	565	S
47 008	Pn	1 814	363	391	T4
47 540	Pn	1 961	363	472	T4
50 334	Rn	1 568	130	427	S
50 770	Vn	897	130	472	U4
51 332	Rn	897	130	214	S
57 061	Vn	368	130	216	U4
62 041	Pn	826	363	550	S
69 902	Pn	390	742	233	S
159 631	Pn	818	130	405	S

Zdroj: Autor

Není náhodou, že těžké vlaky jsou v sudém směru. Na Resch. to má vliv ten, že tyto vlaky většinu úseku jedou ve spádu cca 4 promile. Vykazují nízkou výběhovost (viz kapitolu 5.7 Orientační výpočet podmínek výhodnosti Reschedulingu) a časový efekt zabránění zastavení je nižší než na rovině či proti sklonu. Změny zpoždění v důsledku Resch. jsou patrné z tabulky 12:

Tabulka 12 – Změny zpoždění a spotřeby trakční energie nákladních vlaků s a bez Resch.

Vlak	Přínos Resch. ve snížení výstupního zpoždění [s]	Spotřeba mechanické práce [kWh]		Přínos Resch. ve snížení spotřeby energie [kWh]	Relativní snížení spotřeby	Cena ušetřené energie [Kč]	Důvod
		bez Resch.	s Resch.				
40 703	-1	833	833	0	0%	-1	
47 008	-13	364	359	5	1%	12	
47 540	-4	594	592	9	2%	24	
50 334	-40	636	620	17	3%	43	nižší rychlost
50 770	-46	828	785	43	5%	112	
51 332	28	362	338	24	7%	62	nižší rychlost
57 061	-70	405	396	3	1%	7	
59 510	-2	58	57	0	0%	0	
62 041	-37	842	742	100	12%	260	Sekvence CB
69 902	-27	208	199	8	4%	22	nižší rychlost
76 171	-230	78	71	8	10%	20	Sekvence CB
159 631	-35	764	748	16	2%	41	nižší rychlost
<b>Celkem</b>	<b>-477 s</b>	<b>5 971 kWh</b>	<b>5 739 kWh</b>	<b>232 kWh</b>	<b>4%</b>	<b>602 Kč, resp. 435 Kč</b>	

Zdroj: Autor

Důvod úspory „nižší rychlost“ znamená, že vlak jel většinu své trasy o několik km/h nižší rychlostí, než bylo možné. Nižší doporučená rychlost je v tomto případě způsobena nedokonalostí algoritmů Resch. Přitom měl vlak nižší odpor vzduchu, tj. nižší spotřebu energie. Úsporu 602 Kč za trakční energii je tedy vhodné snížit na 435 Kč, což znamená 36,25 Kč na jeden vlak čísla vyššího než 40 000.

Vlaky nákladní dopravy v obou simulacích dosahují významně kratších dob jízdy než ve skutečnosti. To je způsobeno redukcí pobytů z dopravních důvodů jako pozitivní důsledek exaktního přístupu ASJC a udržování normativní rychlosti. Celkem byly tímto způsobem řízení eliminovány či významně oddáleny následující pobyty:

**Tabulka 13 – Doba ušetřená eliminací dopravních pobytů**

Vlak	Stanice	Ušetřená doba [s]
47008	Dr	1488
50334	Li	550
50770	Dr	695
51332	Hr	550
<b>Celkem</b>		<b>3 283 s</b>

**Zdroj: Autor**

Do této tabulky nebyly zahrnuty vlaky, které měly sníženou rychlost a je u nich samozřejmé, že vyčkají projetí skupiny vlaků osobní dopravy. Stejně tak zde nebyly zahrnuty vlaky, které žst. Přerov vzhledem k probíhající výlukové činnosti krátkodobě nemohla přijmout a proto čekaly v Prosenicích či Lipníku.

Dosažená úspora činí cca 11 % součtu dob jízdy oblastí všech do simulace zahrnutých vlaků čísel nad 40 000. Ekonomický efekt zrychlení jízdy nákladních vlaků je nemalý. Pokud by dle kvalifikovaného odhadu autora náklady na hodinu existence dvacetivozového nákladního vlaku pohotového jízdy činily 1 300 Kč, ušetřilo by se tímto dopravcům zhruba 1 200 Kč. Toto není přímo efekt Resch., nýbrž ASJC a dosahování maximální rychlosti strojvedoucími.

#### **4.5 Diskuze výsledků**

V případě zákazu Resch. u lehkých vlaků osobní dopravy, resp. jeho omezení na pouhou asistenční obdobu OJV a vyloučení chyb Resch. způsobujících bezdůvodné prodlužování JD vlaky nákladní dopravy by přínos Resch. v simulovaném období mohl činit:

- V osobní dálkové dopravě 213 Kč
- v osobní regionální dopravě 108 Kč
- v nákladní dopravě 435 Kč.

Součet vybraných přínosů po odečtení vybraných negativních efektů činí 756 Kč.

Výsledky ukazují, že přínos Resch. v oblasti snižování zpoždění je při daném provozu na trati v simulovaném období relativně malý. Důvody jsou následující:

- a) Liniový vlakový zabezpečovač – na rozdíl od např. Švýcarských drah, které na mnoha tratích používají bodový vlakový zabezpečovač, není důsledek minutí návěstidla v poloze výstraha v ČR tak markantní.
- b) Měrný výkon souprav především v osobní dopravě je natolik vysoký a dosahované rychlosti na zkoumané trati natolik nízké (okolo 120 km/h), že časová ztráta způsobená opětovným rozjezdem je v porovnání se součtem doby jízdy v prostorovém oddíle, dohlednosti a potřebných rezerv malá. Vlak EC 137 sestává ze soupravy pouhých pěti vozů tažených lokomotivou ř. 362.
- c) Algoritmy Resch. nejsou dokonalé, ve stromech řešení není např. prověřována a dle kritéria optimality zkoumána možnost pozdního předjetí s mírným opožděním rychlejšího vlaku, letmé předjíždění, varianty náhradních kolejí při jejich změně, ...
- d) U některých vlaků (např. EC 137) neměl systém dostatek času řízeně opozdit tento vlak, neboť první zásahy započaly až po jeho vstupu do oblasti, a to okamžitým brzděním a následným výběhem kvůli nemožnosti přijmout bezkonfliktní scénář bez povolení překrytí oken obsazení kritických prvků tras vlaků 137 a 3312. Řešením by bylo zvětšení ovládané oblasti s blíže zatím nezkoumaným negativním vlivem na kombinatorickou náročnost výpočtů.

Přínos lze očekávat pouze v případě, že by Resch. zamezil významnému zpomalení či zastavení těžkého vlaku. Tato situace však v simulovaném období bohužel nenastala. K těmto případům by mohlo docházet na styku tratí v Prosenicích a Hranicích na Moravě.

Pozoruhodná je míra zkrácení doby jízdy nákladních vlaků oproti skutečnosti. Ta není způsobena přímo zásahy Resch., nýbrž exaktním automatickým stavěním jízdnic cest a jízdou vlaků definovanou rychlostí. Dle dosavadních poznatků autora se rychlost jízdy nákladních vlaků odvíjí nejen od osobnosti strojvedoucího, ale i např. od blízkosti konce směny. „Odvaha“ dispečera vložit do proudu další nákladní vlak, popř. odložit jeho předjetí do dalších stanic, je snižována silnou preferencí osobní dopravy a růzností jízdnic dob nákladních vlaků. Snižování směrodatné odchylky jízdnic doby nákladního vlaku by tak spolu s exaktním ASJC v budoucnu mohlo způsobit výrazné zrychlení a zhuštění nákladní dopravy.

V minimalistickém pojetí by mohlo jít o další rozpracování asistenčních systémů (okna rezervace do GTN, kalkulace potřebných rezerv), v maximalistickém pojetí vysoce automatizovaný exaktní systém provazující ASJC a Resch. s AVV za přispění mnoha informačních systémů.

## 4.6 Ekonomické posouzení

### 4.6.1 Úspory systému

Do simulace bylo zahrnuto 44 vlaků odpolední špičky. Celý zkoumaný den obsahuje 298 jízd vlaků. Pomineme-li pokračování odpolední špičky do cca 19 hodin a dopolední špičku od 6 do 10 hodin, zbývá 14 hodin relativně méně hustého provozu s pravděpodobně menší mírou interakcí mezi vlaky. Pokud by v mimošpičkovém období byly přínosy Resch. na jeden vlak poloviční a stejně jako do vyhodnocení výsledků simulace byly počítány jen vlaky, které v oblasti jedou nejméně 3 mezistaniční úseky, vypadal by výpočet přínosu Resch za zkoumaný den následovně:

Tabulka 14 – Extrapolace přínosu Resch. na celý den

21.4.2010		Vlaků za den			Přínos Resch. na jeden vlak		Přínos Resch celkem		
Kategorie	vlaků v simulaci	ve špičce	mimo špičku	celkem	ve špičce	mimo špičku	ve špičce	mimo špičku	celkem
Dálková osobní	22	52	46	98	9,7 Kč	4,8 Kč	503 Kč	223 Kč	726 Kč
Regionální osobní	10	22	18	40	10,8 Kč	5,4 Kč	238 Kč	97 Kč	335 Kč
Nákladní a ostatní	12	43	66	109	36,3 Kč	18,1 Kč	1 559 Kč	1 196 Kč	2 755 Kč
Celkem	44	117	130	247			2 300 Kč	1 516 Kč	<b>3 816 Kč</b>

Zdroj: Autor

Zkoumaný den byla středa, duben. O víkendu, na začátku roku, v létě a v druhé polovině prosince je intenzita dopravy nižší. Pro vyčíslení úspor za celá rok proto lze částku vynásobit zhruba 250 (pro opatrnost záměrně podhodnocený faktor). Roční přínos Resch. by tak na trati Polom/Odb. Skalka – Přerov/Dluhonice za trakční energii po odečtení nákladů času cestujících mohl činit **954 tis. Kč, přínos za deset let 9,54 mil. Kč.**

Tento odhad je silně ovlivněn výběrem simulovaného období a kvalitou a rozsahem modelu. Skutečná částka může být několikanásobně vyšší či nižší.

Do výpočtu není zahrnuto například:

- Zvýšení kapacity infrastruktury,
- úspora ze snížení četnosti zastavení nákladních vlaků z dopravních důvodů,
- náklady času nákladních vlaků obecně,

- případné úspory provozních zaměstnanců řídicích provoz, včetně souvisejících prostor,
- výrazně vyšší cena trakční energie u nezávislé trakce,
- vyšší energetický přínos Resch. při výlukových pracích.

Resch. nejlépe ve spojení s ASJC může při správné aplikaci znamenat znatelné úspory trakční energie a zvýšení produktivity velmi drahých výrobních faktorů jak u správce infrastruktury (levné zvýšení kapacity trati), tak u dopravců (zrychlení oběhu vlaků především nákladní dopravy). Z úspor energie bude v případě elektrické trakce při současném nastavení drážního systému v ČR těžit správce infrastruktury, zatímco u nezávislé trakce dopravci.

#### 4.6.2 Náklady na systém

Náklady spojené se zaváděním Resch. lze rozdělit na vývoj, instalaci a samotný provoz. V současné době je lze jen obtížně kvantifikovat. Vždy je nutno uvážit provázání s ostatními systémy. Náklady lze očekávat v následujících oblastech:

- Vývoj:
  - softwaru Resch.,
  - rozhraní mezi počítačem Resch. a:
    - stavědlem (bezpečný firewall),
    - vlaky,
    - informačními systémy,
  - úprava informačních systémů.
- Instalace:
  - kvalitní komunikační kanály podél trati (nejen pro Resch.),
  - počítač Resch.,
  - rozhraní na stavědla (DOZ), vlaky, informační systémy,
  - vozidlové stanice,
  - úprava stavědel pro automatické stavění jízdních cest,
  - případná úprava stavědel pro poskytování informací o více úsecích KO (úseky automatického bloku).
- Provoz:
  - aktualizace parametrů infrastruktury programu Resch.,
  - vyšší náklady na obměnu IS s Resch. spolupracujících,
  - případné počáteční omyly systému nad rámec současných omylů lidské obsluhy.



Resch. je nikoli bezpečný systém, bezpečnost hlídá zabezpečovací zařízení. Proto lze očekávat, že jeho vývoj i provoz bude výrazně levnější než je tomu v případě zabezpečovacích zařízení. Důraz bude pravděpodobně kladen na technickou pohotovost a kvalitu rozhodnutí učiněných tímto systémem. Pro postupné propojování Resch. s početnými, leč většinou samostatnými informačními systémy správce infrastruktury a jednotlivých dopravců bude nutné tyto aplikace k určité formě komunikace přizpůsobit.

#### **4.7 Další postup při zavádění ASJC a Reschedulingu**

Vývoj v následujících letech by mohl být orientován především na vývoj ASJC založeného na přesném propočtu tras, oken obsazení, dob potřebných mezer a řešení konfliktů na bázi scénářů v rámci stromu řešení. Tento systém je však neúplný bez navádění vlaků do pro ASJC propočtených tras – Resch., který by měl být v následujících letech zaváděn přednostně na těžké nákladní vlaky a na rychlé vlaky dálkové osobní dopravy s nižším měrným výkonem. Resch. by neměl být součástí např. GTN v zájmu urychlení a zjednodušení vývoje a zabránění fatálním chybám GTN, které budou způsobené chybami ve velmi složitém programu Resch. v době vývoje a zkušebního provozu.

Pro uskutečnění těchto cílů je účelné podniknout následující činnosti:

- Testování a ladění chování matematického modelu na simulaci mnoha dalších hodin a dní na základě záznamů událostí z reálného provozu,
- další zpřesnění modelu základní simulace v oblasti dob pobytů vlaků ve stanicích, chování strojvedoucího, atd.,
- pokusy se vstupy událostí v reálném čase, pravděpodobně z GTN,
- propojení s dalšími IS, především ISOŘ pro čerpání údajů o nákladních vlacích,
- sledování rozdílů mezi řešením konfliktů dispečery a programem, zahrnování dalších faktorů do rozhodovacích procesů programu,
- zkušební provoz ASJC, postupné zvyšování kvality a spolehlivosti,
- běžný provoz ASJC, přidávání dalších funkcí,
- pilotní projekt Resch. na jedno či několik hnacích vozidel, vyhodnocení zkušeností,
- postupné zavádění Resch. v pořadí dle rentability, provazování s mnoha informačními systémy na železnici.

Každá fáze zabere několik měsíců až rok, úspěšnost celého projektu závisí i na přízni zákazníků a ochotě dodavatele investovat do několikaletého vývoje.

## 5 Analýza faktorů výkonnosti Reschedulingu

Na kvalitu Resch. mají značný vliv následující faktory:

### 5.1 Směrodatná odchylka klíčových procesů

Předvídání jízdy jednoho vlaku je důležité pro kvalitní navedení vlaků na něm prvotně či druhotně (kaskádově) závislých. Přílišná odchylka základní simulace od skutečností může zcela znemožnit smysluplné navádění vlaků. Toto se může stát například při popojíždění několika vlaků v jednom mezistaničním úseku.

Jízdní doba vlaku mezi dvěma stanicemi v případě, že vlak tyto stanice projíždí, se dá s velkou pravděpodobností určit s přesností na jednotky sekund.

U vlaků, které mají mezi dvěma událostmi pobyt, ovlivňuje časovou prodlevu mnoho faktorů:

- dynamika brzdění a rozjezdu, způsob zastavení – tyto procesy jsou z velké části technického charakteru a v případě uplatnění AVV je doba jejich trvání dána velmi přesně,
- doba výměny cestujících, doba výpravy vlaku apod. – těchto procesů se účastní lidé, doba jejich trvání je různá, je nutno vysledovat křivku rozdělení pravděpodobnosti doby trvání těchto činností v závislosti na různých faktorech.

U zastavujících vlaků lze odlišit dva případy:

- a) „Vjezd“ a „Odjezd“ v rámci jedné stanice,
- b) „Uvolnění“ a „Minutí vj. náv.“ pro dvě sousední stanice v případě, že se v mezistaničním úseku nachází zastávka.

V případě za b) je situace o to horší, že doba, po kterou nemáme o vlaku žádné informace, je mnohem delší, než v případě a).

Situaci ilustrují autorem provedené rozbory dat získaných z Protokolu obsluhy GTN CDP Přerov za celý den 21. 4. 2010 v kapitole 3.2 Analýza dob pobytů, které jsou ale omezené pouze na jeden den. V praxi by měly být rozbory prováděny vždy v rámci vlaku či skupiny vlaků podobných vlastností důležitých pro tento účel v posledních několika desítkách či stovkách dní odděleně pro různé skupiny dní v týdnu, extrémní dny apod. Skupiny dní v týdnu se budou v osobní dopravě lišit dle segmentu (dálková od regionální, rekreační od pracovní či školní apod.).

## 5.2 Spolupráce s AVV a ASJC

Absence spolupráce s těmito systémy, tedy předávání informací lidem a závislost na jejich vůli optimalizační povely následovat, znamená:

- Zvýšení rezerv mezi trasami vlaků,
- pomalejší reakci na povely Resch.,
- kompromis mezi naprostou volností ke změnám pro dosažení aktuálního optima při každém generování JŘ a potřebou lidí měnit povely minimálně,
- jiné řešení dopravní situace člověkem než na jaké Resch. dle svého modelu vlaky navádí – často v případě, kdy je postavena vlaková cesta na jinou kolej, než vypočítal Resch.

Tyto důsledky by mohly snižovat efektivitu Resch., resp. v některých případech vůbec ohrozit jeho smysluplnost. Je také otázkou, zdali mají dopravní zaměstnanci v každé situaci dostatek času sledovat povely Resch.

Proto je pro zavádění Resch. důležité napojení na ASJC. Pro vytváření modelu Resch. je nutno každopádně určit vlakům koleje. ASJC naopak musí znát jízdní doby vlaků, které počítá a určuje Resch. **Resch. a ASJC jsou tak předurčeny ke sloučení do jediného systému.**

Propojení s AVV pak urychlí reakci na jakoukoliv změnu, dokáže zpřesnit navádění vlaků a umožnit strojvedoucímu se lépe soustředit na bezpečnostně relevantní podněty.

## 5.3 Doba od nastání významné události do aplikace povelů

Je žádoucí, aby doba od nastání významné události do počátku uskutečňování na jejím základě vytvořených povelů byla co nejkratší. Tato doba se skládá z:

- Doby cesty informace od nastání v kolejišti do počítače Resch. – téměř konstanta vlastní danému řešení zabezpečovacího zařízení,
- doby generování JŘ – závisí na složitosti dopravní situace, rozsahu oblasti, počtu vlaků, požadované kvalitě řešení a požadované pravděpodobnosti nalezení vhodného řešení,
- doby nutné pro přenos povelů k dopravním zaměstnancům – závisí na vytíženosti přenosové sítě, přidělené prioritě a pokrytí trati signálem,
- doby reakce dopravních zaměstnanců na povel – v případě strojvedoucích se bude pravděpodobně jednat o zavedenou dohlednost (12 s), autor by se přikláněl k době kratší.

První tři z těchto dob jsou v řádu jednotek sekund, v součtu maximálně 10 s. Spolu s dohledností celková doba činí zhruba 20 sekund. Pokud doba od počátku rozjezdu vlaku do obsazení úseku za odjezdovým návěstidlem činí běžně několik desítek sekund, jsou povely generovány minutu i více (dle vzdálenosti místa zastavení od odjezdového návěstidla, dynamických vlastností vlaku, sklonu, chování strojvedoucího) po prvotní události, např. po zavření dveří vlaku či počátku rozjezdu. Tomu lze zamezit buď instalací GPS přijímačů do vozidel, nebo zprávou od řídicího systému vlaku či AVV o zavření dveří popř. počátku rozjezdu, nebo v budoucnu využitím „Position report“ ETCS.

Dobu reakce na povel lze výrazně zkrátit provázáním s AVV na straně vlaku a s ASJC na straně stavědla.

Prodlužování této celkové doby zvyšuje pravděpodobnost vytváření povelů pro řešení situace, která se již změnila. Zpoždění se dá částečně kompenzovat generováním JŘ a povelů pro situaci, která pravděpodobně nastane za tuto dobu.

V kontextu celkové doby má relativně malý vliv, zda generování JŘ trvá půl nebo dvě sekundy. Výrazné prodlužování doby generování však není žádoucí. Průměrná doba generování JŘ během provedených simulací činila na notebooku z roku 2006 0,5 sekundy.

## **5.4 Momenty generování JŘ**

Je možno přijmout dva přístupy:

- Buď generovat jízdní řád v určitých časových periodách (např. každou celou minutu), popř. i v případech nastání události, která může mít vliv na průběh jízdy dalších vlaků,
- nebo generovat JŘ při každé události, popř. při jedné až dvou událostech během průjezdu stanicí podle toho, jestli vlak stanicí projíždí nebo zastavuje,
- nebo pouze při překročení stanovených tolerancí jízdní doby vlaku,
- kombinace výše uvedených variant.

První varianta je nejjednodušší a byla aplikovaná pro simulační ověření v rámci této práce.

Generování JŘ při každé události znamená při JD mezi dvěma stanicemi v průměru šest minut, čtyřech událostech na stanici a deseti vlcích v oblasti generování JŘ každých v průměru 9 sekund.

Za významnou událost lze považovat minutí vjezdového návěstidla u vlaku, který má být předjet jiným vlakem, minutí odjezdového návěstidla koleje, na kterou má vjet jiný vlak, postavení či zrušení vlakové cesty obsluhou, dodatečná informace od obsluhy o pobytu vlaku

ve stanici či o změně doby jeho trvání, nenastání očekávané události v očekávaném čase po uplynutí určité doby, atd.

Třetí přístup, tj. vyhrazení tolerančních polí jednotlivým vlakům, byl dle (1, 2) zvolen u projektu PULS 90 SBB.

### **5.5 Informace o pohybu vlaků vstupující do modelu**

Informace dle své definice slouží ke snížení nejistoty. Nízká hustota informací snižuje přesnost základní simulace, na které staví matematický model generující (sub)optimální JŘ. Pro dodržení uspokojující pravděpodobnosti nenavedení vlaku na cílový bod předčasně tak musí být počítáno s většími rezervami. Při v této práci uvažovaném systému aktualizace základní simulace je nejhorším případem Os vlak v mezistaničním úseku se zastávkou, u kterého se lze aktuální polohu dozvědět až několik minut po odjezdu ze zastávky.

Pomoci by mohlo využití informací z více úseků KO, nejlépe i z úseků automatického bloku. Tímto lze velmi pravděpodobně silně snížit potřebné rezervy u vlaků jedoucích bez zastavení. Problémem by zůstaly vlaky na úseku zastavující, o kterých nebývá informace často i déle než 100 sekund. Bližší zkoumání efektů častějších informací nebylo blíže zkoumáno.

Ideálním případem je v krátkých periodách zasílaná poloha, rychlost či dokonce zrychlení vlaku spolu s některými dalšími stavy (zavření dveří, dokončená zkouška brzdy, apod.). Toho by šlo docílit propojením GPS, informačních systémů moderních vlaků prostřednictvím kvalitního datového rádiového spojení s počítačem Resch & ASJC.

### **5.6 Stanovení horizontu předpovědi**

Horizont předpovědi je čas, před kterým musí vlaky vstoupit do oblasti, aby ještě byly zahrnuty do matematického modelu generování JŘ. Jízdní řád totiž není generován na mnoho hodin dopředu. Pro účely simulace byl tento horizont zvolen na aktuální čas plus 20 minut. Určení vzdálenosti časového horizontu má vliv na počet generovaných tras, množství řešených konfliktů, na velikost stromu řešení, tj. na dobu generování JŘ.

Stanovení příliš blízkého horizontu předpovědi naopak zamezí včasnému odhalení a řešení některých konfliktů, například postavení jízdní cesty vlaku s dlouhým pobytem na hlavní staniční koleji dříve, než systém začne počítat s trasou pozdějšího projíždějícího vlaku. Jistou pomocí může být zákaz použití hlavních kolejí vlakům s dlouhým pobytem končícím po horizontu předpovědi prodlouženém o jízdní dobu nejrychlejšího vlaku.

## **5.7 Orientační výpočet podmínek výhodnosti Reschedulingu**

### **5.7.1 Výchozí úvaha**

Pro účely zjištění zda a pro kterou kategorii vlaků je Resch. z časového hlediska teoreticky vhodný byla rozvedena následující úvaha. Je dán konstantní čas změny návěstního znaku na kryjícím návěstidle. V případě bez Resch. se záhy po této události začne z místa velmi blízkého tomuto návěstidlu vlak rozjíždět při vzniku patřičné přírážky na rozjezd. V případě s Resch. následuje v ideálním případě pro vlak či úsek s rychlostí do 120 km/h doba dohlednosti a jízdy v prostorovém oddíle před kryjícím návěstidlem. Pokud je tato doba kratší než přírážka na rozjezd, je splněna podmínka smysluplnosti aplikace Resch. pro minimalizaci přenosu zpoždění. Tato metoda vychází z nejnepříznivějších možných podmínek situace bez Resch. – úplné zastavení vlaku před kryjícím návěstidlem.

### **5.7.2 Popis výpočtu**

S pomocí Newtonovy iterační metody byly provedeny výpočty v MS Excel na základě zvolených údajů (viz tabulka 15). U těžkých vlaků byl volen vyšší poměrný tah, neboť lze očekávat, že strojvedoucí bude při těžkém vlaku více využívat parametrů vozidla. Krok rychlosti souvisí s použitou metodou a má vliv na přesnost výpočtu ve výši maximálně dvě sekundy.

Sklon trati byl volen většinou nulový (pro srovnatelnost vlaků). Vyšší sklon prodlužuje rozjezd, tj. prodlužuje přírážku na rozjezd, tj. zvyšuje úsporu při Resch.

Maximální úspora Resch. byla počítána jako přírážka na rozjezd mínus doba jízdy v posledním oddíle a dohlednost. Čím vyšší hodnota v sekundách, tím vyšší je přínos Resch. oproti stavu bez tohoto systému. Dle tabulky 15 je zřejmé, že z časového hlediska je Resch. prospěšný především u nákladních vlaků s nízkým měrným výkonem a vyšší rychlostí. V pravé části tabulky jsou tři vlaky (Pn, R, SC) s téměř nulovou úsporou. Z těchto je patrné, že u těžkého Pn vlaku dochází k úspoře času až při rychlostech nad 60 km/h, u rychlíku kolem 90 km/h a u EJ 680 díky vysokému výkonu a brzdění přes dva oddíly se Resch. z časového hlediska nevyplácí ani při rychlosti 160 km/h.

Veličina výběhovost udává procento původní rychlosti, kterou vlak ztratí při jízdě výběhem během první minuty. Čím vyšší je tato hodnota, tím snadněji a rychleji lze vlak řízeně opozdit a navést do nové trasy, a to bez použití brzdění. Pokud je tato hodnota vysoká, jako například u Vn vlaků, je zřejmé, že velkou míru optimalizace zvládne i strojvedoucí sám bez pomoci Resch. Kvůli tomu je tedy Resch. důležitý především u těžkých nákladních vlaků

s pomalým rozjezdem i výběhem. Toto hledisko může být uplatněno i při určování potřebné mezery mezi bezprostředně následujícími trasami.

**Tabulka 15 – Orientační výpočty výhodnosti Resch. pro různé kategorie vlaků**

Kategorie	Pn	Pn	Pn	Pn	IC	R	IC	NEx	Vn	IC	Mn	Pn	R	SC	471	471
Výkon	3000	3000	3000	3000	4000	3000	4000	3000	2600	4000	880	3000	3000	4000	2000	2000
Hmotnost	2000	3000	2000	2000	500	700	600	1000	800	500	500	2000	700	370	180	180
Max. tažná síla	260	240	260	260	210	260	220	260	250	210	210	260	260	280	162	162
Typ odporu	T4	T4	S	T4	R	R	R	S	U4	R	R	T4	R	680	471	471
Rychlost	90	80	90	90	160	120	120	100	90	130	85	60	90	160	120	80
Délka posledního oddílu	1300	1300	1300	1300	2500	1300	1300	1300	1300	2500	1300	1300	1300	2500	1300	1300
Dohlednost	12	12	12	12	0	12	12	12	12	0	12	12	12	0	12	12
Poměrný tah	0,8	0,8	0,8	0,8	0,58	0,58	0,58	0,8	0,58	0,58	0,58	0,8	0,58	0,58	0,9	0,9
Krok rychlosti	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	3	2	2
Sklon	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maximální úspora Resch	190	155	122	85	51	42	39	28	28	15	13	0	1	2	-25	-56
Výběhovost	15%	8%	13%	8%	14%	12%	11%	14%	25%	12%	11%	7%	11%	9%	16%	14%
Cena energie	451	535	451	451	357	281	241	279	181	235	101	201	158	264	72	32

**Zdroj: Autor**

Pokud se výběhovost vydělí dvěma (průměrná rychlost), získá se průměrná relativní přírážka na první minutu výběhu. První Pn vlak tedy během první minuty ztratí výběhem orientačně  $0,075 * 60 = 4,5$  sekund. Po dvou minutách se přírážka zvýší zhruba na čtyřnásobek (dle obsahu podobného trojúhelníka o dvojnásobné straně).

Cena pohybové energie v Kč byla určena velmi prostě dle vzorce pro kinetickou energii tělesa při odhadovaných nákladech na jednu kWh mechanické práce ve výši 2,6 Kč. Cena je nejvyšší u těžkých nákladních vlaků a rychlých expresů.

### 5.7.3 Výsledky výpočtu

Jako nevýhodné se z časového hlediska jeví používání Resch. u vlaků s velmi vysokým měrným výkonem (osobní vlaky) či nízkou rychlostí, částečně i u vlaků, které mírně překročily hranici 120 km/h. Při dostatečně nízké směrodatné odchylce a nedostatečné možnosti přirozené optimalizace situace strojvedoucím může být Resch. z hlediska snížení přeneseného zpoždění přínosný především u vlaků s nižší měrným výkonem. Velmi výrazný pozitivní vliv lze očekávat u nákladních vlaků, pro které každé zbytečné snížení rychlosti znamená promarnění mnohaminutového rozjezdu, především ve stoupání. Ušetřený čas může znamenat kapacitu pro nejméně část trasy dalšího vlaku.

## Závěr

V rámci práce byl zkoumán vliv navádění vlaků do bezkonfliktních tras na cenu spotřebované trakční energie a náklady cestujících způsobené zpožděním.

Za tímto účelem bylo vyvinuto vlastní simulační prostředí obsahující autorem vytvořené optimalizační algoritmy Resch. Kromě návrhu možné podoby budoucího systému jsou hlavním přínosem této práce dvě varianty simulace aplikované na trať Hranice na Moravě – Prosenice:

- První modelovala provoz vlaků bez zásahů Resch.,
- druhá modelovala navádění vybraných vlaků do bezkonfliktních tras dle pokynů Resch.

Zkoumány byly vlaky, které dne 21. 4. 2010 vstoupily do oblasti v odpolední špičce mezi 13:00 a 16:45. Vyhodnocena byla jízda celkem 22 vlaků dálkové dopravy, 10 osobních vlaků a 12 nákladních a ostatních vlaků.

Celkové náklady na trakční energii zkoumaných vlaků činily dle simulace bez Resch. 47 956 Kč, celkové náklady času cestujících způsobené zpožděním na výstupu z oblasti 28 690 Kč.

Simulace prokázala ve sledovaném období možnou úsporu patrnou z následující tabulky:

**Tabulka 16 – Ekonomické výsledky simulace**

21. 4. 2010, 13:00 - 16:45	Cena uspořené trakční energie	Úspora nákladů času cestujících	Úspora celkem
Dálková osobní doprava	287 Kč	-74 Kč	213 Kč
Regionální osobní doprava	152 Kč	-44 Kč	108 Kč
Nákladní a ostatní doprava	435 Kč	0 Kč	435 Kč
<b>Celkem</b>	<b>874 Kč</b>	<b>-118 Kč</b>	<b>756 Kč</b>

**Zdroj: Autor**

Celodenní úspora tak může po přepočtu činit zhruba 3 800 Kč.

Další úspory lze očekávat od zkrácení doby jízdy především nákladních vlaků způsobené zvýšením exaktnosti řízení železničního provozu při provázání Resch. s automatickým stavěním jízdnic cest.

Ze zkoumání faktorů efektivity Resch. vyplývá, že by tento systém měl být zaváděn přednostně na těžké vlaky nákladní i osobní dopravy na tratích s velmi hustým smíšeným provozem a vysokými rychlostmi.



## Seznam použitých pojmů

cílový bod	Zastávka či místo na trati, v němž je dána: <ul style="list-style-type: none"><li>▪ kilometrická poloha,</li><li>▪ čas, v němž jej má vlak dosáhnout,</li><li>▪ rychlost, jakou má vlak jet při jeho dosažení.</li></ul>
horizont předpovědi	Čas, před kterým musí vlaky vstoupit do oblasti aby ještě byly zahrnuty do matematického modelu generování JŘ. Po tomto horizontu již vlaky pro model neexistují.
kritický prvek	Kolej nebo výhybka, která je posledním společným prvkem dvou konfliktních tras – je směrodatná pro výpočet cílového bodu.
kryjící návěstidlo	Návěstidlo, od kterého vede cesta, v níž se nachází kritický prvek kolejiště.
navádění vlaku	Včasná, pokud možno energeticky efektivní úprava rychlosti jízdy vlaku pro zamezení očekávaného konfliktu a zvýšení plynulosti provozu.
prvek kolejiště	Kolej či výhybka
Rescheduling	System aktualizace jízdního řádu v reálném čase na základě jízdy vlaků
rezervace prvku kolejiště	Časové okno (od – do), v němž je prvek nepoužitelný pro jiný vlak. Nejedná se tedy pouze o dobu vlastního fyzického obsazení, nýbrž o dobu od počátku stavění JC (v dostatečném předstihu před vlakem) do zrušení závěru prvku po jízdě vlaku.
scénář dopravy	Množina tras vlaků
trasa vlaku	Seznam úseků s definovanou dráhou, rychlostí, délkou apod., jízdnicích cest, časových oken rezervací prvků kolejiště, atd.
základní simulace	Simulace běžící na počítači Resch., která slouží jako zdroj informací pro matematický model generování JŘ. Je aktualizována událostmi v kolejišti a povely obsluhy.
závislý vlak	Vlak, který je naváděn na cílový bod, který byl odvozen od jízdy jiného vlaku. Pokud se tento zpozdí, dojde k vyčerpání rezervy, dohlednosti či dokonce zpoždění závislého vlaku.

## Zdroje

- (1) Marco Luethi & Giorgio Medeossi & Andrew Nash: *Structure and Simulation Evaluation of an Integrated Real-Time Rescheduling System for Railway Networks* [online]. Poslední revize 14.11.2008 [cit. 2010-03-27]. Dostupné z <<http://www.springerlink.com/content/u536j9715021n048/fulltext.pdf>>
- (2) Marco Lüthi, Giorgio Medeossi, Andy Nash: *Evaluation of an Integrated Real-Time Rescheduling and Train Control System for Heavily Used Areas* [online]. c2008 [cit. 2010-03-27]. Dostupné z <http://www.andynash.com/nash-publications/Luethi2007-realttime-IAROR07-paper.pdf>
- (3) interní informace AŽD Praha s.r.o.
- (4) Melichar, Vlastimil: *Analýza faktorů působících na poptávku po přepravních službách dopravního podniku*, studijní podpora k přednášce č. 3 a 4 z předmětu Ekonomika dopravního podniku ze dne 18. 2. 2008.
- (5) *Český statistický úřad* [online]. Poslední revize 20.4.2010 [cit. 2010-04-20]. Dostupné z <<http://www.czso.cz>>
- (6) průběžné konzultace s Dr. ing. Ivo Myslivcem, AŽD
- (7) Krýže, Pavel: *Provozní intervaly, následná mezidobí, propustnost – Praxe u SŽDC, s.o.*, výběrová přednáška na DFJP Univerzity Pardubice, únor 2009.
- (8) Služební pomůcky SŽDC pro GVD 2009/10.
- (9) Bébar, Zdeněk. *Železniční trať z Přerova do Polanky nad Odrou je nově řízena dálkově. Reportér AŽD Praha*, 2009, č. 2, s. 4 – 5. [online]. Dostupné z <[http://www.azd.cz/fileadmin/user\\_upload/casopis-reporter/2009/azd-reporter-200902.pdf](http://www.azd.cz/fileadmin/user_upload/casopis-reporter/2009/azd-reporter-200902.pdf)>
- (10) *SŽDC, s.o.* [online]. c2009 [cit. 2010-03-27]. Dostupné z <<http://www.szdc.cz/modernizace-drahy/prehled-staveb/nefinancovane-z-eu/cdp-prerov.html>>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Efekt navedení do bezkonfliktní trasy .....	13
Obrázek 2 – Postup Resch.....	14
Obrázek 3 – Architektura systému ASJC a Resch. ....	15
Obrázek 4 – Události v současné době vstupující do GTN.....	16
Obrázek 5 – Modelový statický a dynamický rychlostní profil .....	26
Obrázek 6 – Výběhy pro krátké prodloužení jízdní doby, řádově o sekundy .....	27
Obrázek 7 – Výběh pro prodloužení jízdní doby řádově o 10 sekund .....	28
Obrázek 8 – Snižování rychlosti pro prodloužení JD o desítky sekund.....	28
Obrázek 9 – Pro prodloužení jízdní doby o několik minut je nutno udržovat nižší rychlost ...	29
Obrázek 10 – Použití „údolí výběhem“ pro mnohaminutové prodloužení JD .....	30
Obrázek 11 – Počty tras dle sešitového jízdního řádu v jednotlivých hodinách v úseku Lipník nad Bečvou – Drahotuše, bez Ruš. a pp vlaků.....	32
Obrázek 12 – Počty do oblasti vstoupivších vlaků dle hodin dne 21. 4. 2010.....	36
Obrázek 13 – Počty vlaků v jednotlivých hodinách dle druhu.....	37
Obrázek 14 – Doba mezi uvolněním SK v prvním stanici a minutím vjezdového návěstidla v následující stanici v případě, že se v úseku nachází zastávka u všech Os vlaků .....	38
Obrázek 15 – Doba mezi vjezdem a odjezdem ze staniční koleje.....	40
Obrázek 16 – Doba mezi vjezdem a odjezdem ze staniční koleje u vybraných vlaků dálkové dopravy. ....	40
Obrázek 17 – Ukázka jednoduchého stromu řešení .....	45
Obrázek 18 – Strom řešení dopravní situace počítaný ve 13:56:00, tj. před vstupem řešených vlaků do oblasti.....	47
Obrázek 19 – Porovnání rychlosti jízdy vlaků s a bez zásahů Resch.....	49
Obrázek 20 – Porovnání průběhu jízdy vlaků s a bez zásahů Resch.....	49

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Počty tras v úseku Drahotuše – Lipník n. B. v GVD 2009/10 .....	32
Tabulka 2 – Skutečné plnění JŘ dne 21. 4. 2010 v modelovaném úseku .....	36
Tabulka 3 – Vyhodnocení souboru osobních vlaků v úsecích s mezilehlou zastávkou, časové údaje v sekundách .....	39
Tabulka 4 – Vyhodnocení souboru vybraných dálkových vlaků .....	41
Tabulka 5 – Příklad konfrontace modelu vlaku R739 s událostmi z GTN.....	44
Tabulka 6 – Rozhodující cílové body během jízdy Pn 62 041 .....	48
Tabulka 7 – Výsledky simulačního ověření vlivu Resch. na zpoždění vlaků dálkové dopravy ..	50
Tabulka 8 – Energetická bilance Resch. u zkoumaných vlaků dálkové osobní dopravy .....	51
Tabulka 9 – Výsledky simulačního ověření vlivu Resch. na zpoždění vlaků regionální dopravy.....	52
Tabulka 10 – Energetická bilance Resch. u vlaků regionální osobní dopravy .....	52
Tabulka 11 – Nákladní vlaky v simulaci .....	53
Tabulka 12 – Změny zpoždění a spotřeby trakční energie nákladních vlaků s a bez Resch....	53
Tabulka 13 – Doba ušetřená eliminací dopravních pobytů .....	54
Tabulka 14 – Extrapolace přínosu Resch. na celý den .....	56
Tabulka 15 – Orientační výpočty výhodnosti Resch. pro různé kategorie vlaků.....	64
Tabulka 16 – Ekonomické výsledky simulace .....	65

## Zkratky

ASJC	automatické stavění jízdních cest
ATO	Automatic Train Operation – automatický provoz vlaku
AVV	Automatické vedení vlaku
AŽD	Automatizace železniční dopravy, spol. s r. o.
CDP	Centrální dispečerské pracoviště
ČD	České dráhy, a. s.
DB	Deutsche Bahn, AG – Německé dráhy
DC	dopravní cesta
DOZ	Dálkové ovládání zabezpečovacího zařízení
EBuLa	Elektronischer Buchfahrplan und Langsamfahrtstellen – elektronický sešitový jízdní řád a přehled pomalých jízd
EC	vlak Eurocity
ETCS	European Train Control System – Evropský vlakový zabezpečovač
Ex	Expresní vlak
GPS	Global Positioning System
GSM-R	Global System for Mobile Communication – Railway
IC	vlak Intercity
IS	informační systém
ISOŘ	Informační systém operativního řízení
JC	jízdní cesta
JD	jízdní doba
KO	kolejový obvod
LS	Liniový systém
ND	nákladní doprava
Nex	Nákladní expres
Os	Osobní vlak
Pn	Průběžný nákladní vlak
Resch.	Rescheduling
R	rychlík
SK	staniční kolej
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty, s. o.

TK	traťová kolej
TRS	Traťový rádiový systém
Vn	Vyrovnávkový nákladní vlak
VZ	vlakový zabezpečovač
ZZ	zabezpečovací zařízení

Zkratky stanic a zastávek:

Po	Polom
Bě	Bělotín
Od	Odbočka Skalka
Hr	Hranice na Moravě
Dr	Drahotuše
Li	Lipník
Os	Osek nad Bečvou
Pr	Prosenice
Vý	Výhybna Dluhonice
Př	Přerov

## **Přílohy**

Zatížení vybraných tratí ČR





