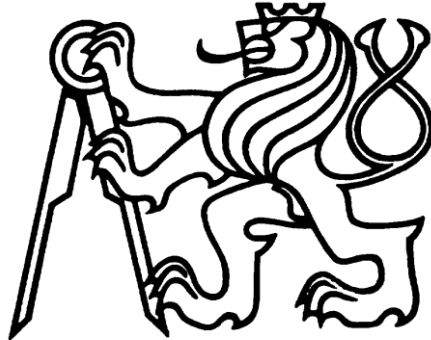


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ



Diplomová práce

**PROVĚŘENÍ STABILITY JÍZDNÍHO ŘÁDU VE
VYBRANÉM TRAŤOVÉM ÚSEKU BĚHEM
MODERNIZACE**

MUDr. Bc. Jan Biskup

2016



K617 Ústav logistiky a managementu dopravy

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Jan Biskup

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – LO – Logistika, technologie a management dopravy

Název tématu (česky): **Prověření stability jízdního řádu ve vybraném traťovém úseku během modernizace**

Název tématu (anglicky): Checking the Timetable Stability for the Selected Track Section Within Upgrading

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- návrh výchozí koncepce jízdního řádu ve vybraném traťovém úseku
- volba stavebního postupu pro simulaci železničního provozu
- sestavení modelu infrastruktury železniční dopravní cesty v prostředí OpenTrack
- simulace železničního provozu
- zhodnocení stability jízdního řádu prověřovaného úseku
- doporučení v oblasti řízení provozu pro zajištění dostatečné stability jízdního řádu

- Rozsah grafických prací: určí vedoucí diplomové práce dle charakteru tématu
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Hürlimann, D. Objektorientierte Modellierung von Infrastrukturelementen und Betriebsvorgängen im Eisenbahnwesen. Dissertation ETH, 2001
- HANSEN, I.A., PACHL, J., Railway Timetable & Traffic – Analysis, Modelling, Simulation. Eurailpress, 2008


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Karel Baudyš, Ph.D.**
Ing. Zdeněk Michl


Datum zadání diplomové práce: **30. června 2015**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

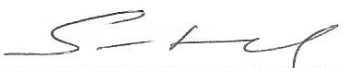
Datum odevzdání diplomové práce: **1. června 2016**

a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia

b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


.....
doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D. vedoucí
Ústavu logistiky a managementu dopravy


.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty



Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.


.....
Bc. Jan Biskup
jméno a podpis studenta

V Praze dne30. června 2015

Prohlášení

Předkládám k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr svého studia na Fakultě dopravní ČVUT v Praze.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Černošicích dne 31. května 2016


.....
Jan Biskup

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Karlu Baudyšovi Ph.D. a Ing. Zdeňku Michlovi za odborné vedení mé práce, cenné rady a vstřícný přístup, panu Ing. Michlovi zvláště za poskytnutí podpory při vlastním zpracování. Dále bych rád poděkoval své rodině za morální a materiální podporu, kterou mi poskytovala během studia, a v neposlední řadě Mgr. Tomáši Flieglovi, Ing. Richardu Schneiderovi, Ing. Pavlovi Urbanovi, Bc. Petrovi Schieblovi, studentům Fakulty dopravní, panu MUC. Janu Lelitovi a MUDr. Alžbětě Honzkové za pomoc při zvládnutí studijních povinností.

ABSTRAKT

Autor: MUDr. Bc. Jan Biskup
Název práce: Prověření stability jízdního řádu ve vybraném traťovém úseku během modernizace
Vedoucí práce: Ing. Karel Baudyš, Ph.D.
Ing. Zdeněk Michl
Škola: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní
Vydání: Praha, 2016
Počet stran: 69

Klíčová slova:

III. tranzitní železniční koridor, kapacita železnice, modernizace trati, jízdní řád

Anotace:

Práce prověřuje provozní opatření a dopravní řešení navržená pro výlukový provoz na trati č. 171/521 Praha – Beroun během stavebních prací při její modernizaci, která proběhne v rámci přestavby III. tranzitního železničního koridoru. Stabilita dopravních řešení bude prověřována simulací v programu OpenTrack. Veškerá řešení se opírají o analýzu provozních charakteristik a propustnosti trati, o analýzu současného provozu a respektují vnější vazby v dopravním systému.

The thesis examines operational arrangements and solutions designed for layoff operations on the track No. 171/521 Praha – Beroun during infrastructure improvement work as a part of modernisation of the III. transit rail corridor. The stability of the operational solutions is examined by the OpenTrack software. All the solutions are designed according to the analysis of the track operational characteristics, its capacity, regarding outer attachments of the transport system.

Seznam použitých zkratek

AB	automatický blok
AVV	automatické vedení vlaku
DB	Deutsche Bahn Aktiengesellschaft
DK	dopravní kancelář
EC	vlak EuroCity
Ex	expres
FBS	Fahrplanbearbeitungssystem
GVD	grafikon vlakové dopravy
HPB	hradlový poloautomatický blok
JŘ	jízdní řád
Lv	lokomotivní vlak
MHD	městská hromadná doprava
N	nákladní vlak, trasa nákladního vlaku
obv.	obvod
odb.	odbočka
Os	osobní vlak
os.n.	osobní nádraží
PI	provozní interval
PIK	provozní interval křižování
PINJ	provozní interval následné jízdy
PN	přivolávací návěst
R	rychlík
SC	vlak SuperCity
St.	stavědlo
STD	směrodatná odchylka
Sv	soupravový vlak
SZZ	staniční zabezpečovací zařízení
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
TK	traťová kolej
TZZ	traťové zabezpečovací zařízení
výh.	výhybna
ZZ	zabezpečovací zařízení
ŽST	železniční stanice

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Současný stav infrastruktury.....	10
2.1. ŽST Praha-Smíchov.....	10
2.2. Traťový úsek Praha-Smíchov – Praha-Radotín.....	11
2.3. ŽST Praha-Radotín.....	11
2.4. Traťový úsek Praha-Radotín – Dobřichovice.....	12
2.5. ŽST Dobřichovice.....	12
2.6. ŽST Řevnice.....	12
2.7. ŽST Zadní Třebaň.....	13
2.8. ŽST Karlštejn.....	13
2.9. Traťový úsek Karlštejn – Beroun os.n.	14
2.10. ŽST Beroun.....	14
2.11. Rychlostní profil.....	15
3. Analýza stávajícího provozu a stanovení propustnosti trati.....	15
3.1. Současný provoz.....	16
3.2. Maximální propustnost – analytická metoda.....	18
3.3. Maximální propustnost – grafická metoda.....	20
3.4. Síťová grafika a vnější vazby.....	21
3.4.1. Osobní vlaky linky S7.....	23
3.4.2. Vlaky vyšší kategorie	23
4. Možnosti odklonové vozby	24
4.1. Odklonová vozba přes Rudou u Prahy (trať 520A).....	24
4.2. Odklonová vozba přes železniční stanici Praha-Krč.....	25
5. Identifikace problematických stavebních postupů	25
6. Tvorba výlukových jízdních řádů.....	29
6.1. Vstupní údaje.....	29
6.1.1. Parametry hnacích a tažených vozidel.....	29
6.1.2. Polohy dopraven, zastávek, návěstidel, rozhodných bodů, rychlostní profil trati, sklonové poměry.....	30
6.1.3. Přirážky k jízdním dobám	30
6.1.4. Provozní intervaly.....	31
6.1.5. Jízdy do odboček.....	31
6.2. Vyhodnocení.....	32
6.2.1. Stavební postup B.....	32
6.2.2. Stavební postup D.....	32
7. Simulace provozu.....	34
7.1. Vstupní údaje.....	35
7.1.1. Parametry hnacích a tažených vozidel.....	35
7.1.2. Charakteristiky dopravní infrastruktury.....	35
7.1.3. Jízdní řád a vstupní zpoždění	38
7.1.4. Způsob organizace dopravy.....	39
7.1.4.1. Provozní intervaly.....	39
7.1.4.2. Volba jízdních cest.....	42
7.1.4.2.1. Stavební postup B.....	42
7.1.4.2.2. Stavební postup D.....	43

7.1.4.3.	Předjíždění.....	43
7.1.4.4.	Jízda v jednokolejných úsecích.....	46
7.1.4.5.	Další údaje.....	46
7.2.	Vyhodnocení.....	47
7.2.1.	Věrohodnost modelu.....	47
7.2.2.	Způsob zpracování dat.....	50
7.2.3.	Stavební postup B	51
7.2.4.	Stavební postup D.....	60
8.	Závěr.....	64

1. Úvod

Cílem této práce je navržení a prověření provozních opatření a dopravních řešení na trati č. 171/521 v průběhu její plánované rekonstrukce, která je součástí modernizace III. tranzitního železničního koridoru. Jedná se o jeden z posledních úseků koridoru, kde zatím modernizace neproběhla. Bylo stanoveno několik termínů, ve kterých měla být trať zrekonstruována, žádný z nich ovšem zatím nebyl dodržen. Podle nynějších dostupných informací by práce měly probíhat v horizontu příštích několika let.

Diplomová práce prověří výlukové jízdny řady pro vybrané stavební postupy, které se budou jevit z hlediska stability provozu jako nejproblematictější. Zvláštní zřetel je nutné brát na úsek Praha-Smíchov – Řevnice, který je charakteristický vysokou mírou využití její propustnosti, zároveň ve dvou nejdélších mezistaničních úsecích. Stavební práce budou mít na využitelnou propustnost tratě jako celku zásadní dopad. Tato diplomová práce navazuje na bakalářskou práci „Koncepte provozu během stavebních prací v úseku Praha – Beroun“, v rámci které byly analyzovány možnosti využití trati a objízdných tras během výluk jednotlivých traťových úseků a částí stanic a byly definovány základní provozní koncepty, které odpovídají kapacitním možnostem trati během realizace stavebních postupů a v co největší míře respektují vnější vazby jízdny řady. Analýza provozních parametrů navazuje na analýzy bakalářské práce a klade si za cíl jednak zpřesnit provozní koncepty a navrhnout další možná řešení, která budou odpovídat kapacitním možnostem trati, a následně pomocí softwarového nástroje OpenTrack stanovit, která z navržených provozních řešení vykazují nejlepší vlastnosti z hlediska likvidace či naopak nežádoucího nárůstu zpoždění, a doporučit postupy, jakými při provozování dané koncepce dosáhnout nejlepších parametrů provozu.

Trať 521, jako součást III. tranzitního železničního koridoru, je zásadním prvkem celostátní infrastruktury z hlediska bezproblémové organizace dálkové osobní i nákladní dopravy. Dálková doprava mezi Prahou a Berounem však musí být plánována s ohledem na vysoké kapacitní požadavky příměstské dopravy, která zajišťuje kvalitní dopravní obslužnost obcí v údolí Berounky i v jeho okolí. V budoucnu se předpokládá nárůst příměstské železniční dopravy i s ohledem na téměř vyčerpanou špičkovou kapacitu silnice II/115 (Biskup 2014a), představující základní spojnici obcí v údolí s Hlavním městem Prahou. Stále není zcela jasné, jak přesně bude rekonstrukce trati probíhat. V úvahu přichází mnohá variantní řešení, která více či méně respektují právě požadavky na zvýšení frekvence vlaků příměstské dopravy, záměrem je zejména zavedení desetiminutového taktu osobních vlaků v úseku Praha – Černošice-Mokropsy (ev. – Dobřichovice), a dále požadavky občanů a samospráv obcí, jejichž katastrálním územím trať prochází. Od roku 2013 probíhají jednání ohledně rušení přejezdů v Černošicích, Všenorech nebo Zadní Třebani, řešení přeložek komunikací na dotčených místech, parametrů trati z hlediska traťové rychlosti, souvisejícího hlukového zatížení, možné výstavby protihlukových opatření atd.

Tato práce počítá s variantou přesunu zastávky Praha-Velká Chuchle do místa dnešního přejezdu, vybudování mimoúrovňového křížení s dotčenou komunikací, vybudování odbočky v daném místě, která umožní provoz mezi ní a Prahou-Radotínem jako čtyřkolejný, provozu dále do zastávek Praha-Radotín sídliště a Černošice zachovaného ve dvoukolejném uspořádání. Dále pak s výstavbou železniční stanice Černošice-Mokropsy s nultou dopravní kolejí pro obraty vlaků příměstské dopravy, vybudováním staničního elektronického zabezpečovacího zařízení III. kategorie a obousměrného automatického bloku v celé délce trati.

2. Současný stav infrastruktury

Trať 521 je v celém úseku dvoukolejná, elektrifikovaná stejnosměrnou napájecí soustavou 3 kV. Trať je vybavena systémem AVV bez vlakového zabezpečovače. Dovolená traťová třída zatížení je

D3 (22,5 t / 7,2 t) v úseku Praha-Radotín – Beroun

C3 (20 t / 7,2 t) v úseku Praha-Smíchov – Praha-Radotín

D4 (22,5 t / 8 t) v úseku Praha-Radotín – Praha-Krč – Praha-Vršovice čekací koleje

Upraveno podle práce Biskup 2014b:

2.1. ŽST Praha-Smíchov

ŽST Praha-Smíchov se nachází v km 0,465 (*km -0,636 (odpovídá staničení trati č. 521B) – km 1,805.*)

Tratěmi, které do stanice ústí jsou kromě trati 521 dále:

Trať 521B jako pokračování trati 171 směr Praha hl.n.

Trať 521G směr Praha-Vršovice

Trať 173/520A směr výh. Praha-Hlubočepy (Rudná u Prahy – Beroun)

Trať 122/528A směr Praha-Jinonice (Hostivice)

Stanice je rozdělena na obvod osobního nádraží, obvod Praha-Smíchov Vyšehrad, společné nádraží a obvod seřadiště.

Obvod osobního nádraží je zabezpečen reléovým zabezpečovacím zařízením 3. kategorie, provoz zajišťují 3 výpravčí – výpravčí A, panelista a vnější služba.

Jsou zde 2 hlavní průběžné dopravní koleje, 8 předjízdných dopravních kolejí a 3 kusé dopravní koleje. Rychlost v hlavních kolejích je 60 km/h, ve všech ostatních kolejích 40 km/h.

Stanice je plně peronizovaná, nachází se zde tato úrovněová nástupiště:

č. I – jednostranné vnější, kolej č. 9; 315 m

č. Ia – jazykové, koleje č. 13 a 15; 315 m

č. II – ostrovní, koleje č. 1 a 7; 355 m

č. III – ostrovní, koleje č. 2 a 6; 355 m

č. IIIa – jazykové, kolej č. 4 (a 2a); 205 m

Praha-Smíchov obvod Vyšehrad je obvodem, který se nachází v km 3,221 trati 525 B (km 2,256 trati 525 G), jedná se o bývalou výhybnu Praha-Vyšehrad s 3 staničními kolejemi. Je zabezpečena provizorním elektronickým stavědlem typu ESA 11, které je dálkově ovládáno výpravčím osobního nádraží. Rychlost v hlavních kolejích je 40/60 km/h, rychlost jízdy do odbočky je 40 km/h kromě jízdy na/z 503. koleje ve směru od/do osobního nádraží (koleje 501a a 502a) 30 km/h.

Obvod společného nádraží je zabezpečen elektromechanickým zabezpečovacím zařízením s návazností na úvazky ZZ obvodu osobního nádraží. Provoz zajišťuje výpravčí a signalista na St. 1. V obvodu společného nádraží je 6 dopravních kolejí, koleje 90s, 91s a manipulační kolej 9s spojují tento obvod s osobním nádražím. Rychlost v kolejišti je nejvíce 40 km/h.

V **obvodu seřadiště** je umístěna pouze jedna dopravní kolej, navazující na kolej 8s společného nádraží, provoz je řízen výpravčím společného nádraží.

Návěstidla ve stanici jsou závislá, nejsou však vybavena rychlostní návěstní soustavou. Lichá kolejová skupina osobního nádraží je rozdělena na jižní a severní část. Jsou zde umístěna vložena návěstidla.

Traťová zabezpečovací zařízení v přilehlých úsecích jsou:

- trať 525B směr Praha hl.n. automatické hradlo bez návěstního bodu
- trať 525G směr Praha-Vršovice automatické hradlo bez návěstního bodu
- TZZ mezi obvody Vyšehrad a osobní nádraží aut. hradlo bez návěstního bodu
- trať 521 směr Praha-Radotín viz. kap. 2.2.
- trať 520A směr výh. Praha-Hlubočepy automatické hradlo bez návěstního bodu
- trať 528A směr Praha-Jinonice telefonické dorozumívání

2.2. Traťový úsek Praha-Smíchov – Praha-Radotín

Zabezpečovací zařízení se dvěma hradly je uspořádáno následujícím způsobem:

ŽST Praha-Smíchov
Automatické hradlo (bez návěstního bodu)
Hr. Barrandov
Hradlový poloautomatický blok
Hr. Závodiště
Automatické hradlo (bez návěstního bodu)
ŽST Praha-Radotín

V úseku se nachází zastávka Praha-Velká Chuchle s ostrovními mimoúrovňovými nástupišti délky 255 m.

2.3. ŽST Praha-Radotín

ŽST Praha-Radotín se nachází v km 9,751 (*km 8,716 – km 10,410*).

Jedná se o odbočnou stanici, odbočuje zde trať směr Praha-Krč a dále Praha-Vršovice.

Tato trať je dvoukolejná až k odb. Tunel, která je dálkově řízená výpravčím z ŽST Praha-Radotín. Větší část trati vede paralelně s úsekem Radotín – Smíchov, vnější nástupiště zastávky Praha-Velká Chuchle patří odbočné trati.

Zabezpečovacím zařízením v úseku Praha-Radotín – odb. Tunel i odb. Tunel – Praha-Krč je automatické hradlo bez návěstního bodu, traťová rychlost v úseku je 75 km/h, kromě odbočky Tunel (50 km/h v přímé a 40 km/h do odbočky).

Zabezpečovací zařízení je III. kategorie, reléové, cestového typu, jsou zabezpečeny vjezdy a odjezdy z/do nesprávného směru. Provoz řídí výpravčí hlavní služby a výpravčí vnější služby.

Ve stanici jsou 4 hlavní dopravní koleje, po dvou pro každou trať, a 2 předjízdne dopravní koleje v sudé kolejové skupině. Ve stanici je rychlostní návěstní soustava. Rychlost v hlavních dopravních kolejích č. 1 a 2 v přímém směru je 100 km/h, rychlost při jízdě na/z odbočné trati kolejovou spojkou v příslušné kolejové skupině minimálně 80 km/h, jinak rychlost do odbočky 40 km/h (kromě cesty z/na 1TK Smíchov na/z 3k – 60 km/h.)

Stanice je poloperonizovaná:

nástupiště I. – 3. kolej – jednostranné úrovňové;	276 m
nástupiště II. – 1. kolej – jednostranné úrovňové;	276 m

nástupiště III. – 2. a 4. kolej – ostrovní mimoúrovňové; 245 m

V obvodu stanice se v km 10,028 nachází přejezd.

2.4. Traťový úsek Praha-Radotín – Dobříchovice

Zabezpečovací zařízení s třemi hradly je uspořádáno následujícím způsobem:

ŽST Praha-Radotín
Automatické hradlo (bez návěstního bodu)
Hr. Kosoř
Hradlový poloautomatický blok
Hr. Kazín
Hradlový poloautomatický blok
Hr. Horní Mokropsy
Hradlový poloautomatický blok
ŽST Dobříchovice

V úseku se nachází zastávky

Černošice s jednostrannými nástupišti délky 220 m (1. TK) a 246 m (2. TK).

Černošice-Mokropsy s ostrovním mimoúrovňovým nástupištěm délky 275 m.

Všenory s jednostrannými nástupišti délky 250 m.

2.5. ŽST Dobříchovice

ŽST Dobříchovice se nachází v km 19,677 (*km 18,875 – 20,556*).

Zabezpečovací zařízení je elektromechanické, II. kategorie. Provoz zajišťuje jeden výpravčí a dva signalisté na stavědlech.

Ve stanici jsou 2 průběžné dopravní koleje a 2 předjízdne dopravní koleje, nejvyšší rychlost při jízdě do odbočky je 40 km/h.

Stanice je poloperonizovaná:

nástupiště I. – 3. kolej – jednostranné úrovňové;	270 m
nástupiště II. – 1. kolej – jednostranné úrovňové;	270 m
nástupiště III. – 2. a 6. kolej – ostrovní mimoúrovňové;	257 m

V obvodu stanice na řevnickém zhlaví se v km 19,979 nachází přejezd.

Traťovým zabezpečovacím zařízením v obou přilehlých mezistaničních úsecích je hradlový poloautomatický blok.

2.6. ŽST Řevnice

ŽST Řevnice se nachází v km 23,512 (*km 22,407 – 24,170*).

Zabezpečovací zařízení je elektromechanické, II. kategorie. Provoz zajišťuje jeden výpravčí a dva signalisté na stavědlech.

Ve stanici jsou 2 průběžné dopravní koleje a 2 předjízdne dopravní koleje, nejvyšší rychlost při jízdě do odbočky je 40 km/h.

Stanice je poloperonizovaná:

nástupiště I. – 3. kolej – jednostranné úrovňové;	261 m
---	-------

nástupiště II. – 1. kolej – jednostranné úrovňové;	261 m
nástupiště III. – 2. a 6. kolej – ostrovní mimoúrovňové;	265 m

V obvodu stanice se nachází 2 přejezdy a to v km 23,201 a 23,977.

Traťovým zabezpečovacím zařízením v obou přilehlých mezistaničních úsecích je hradlový poloautomatický blok. Odjezdová návěstidla L3-L6 jsou předvěstí vjezdového návěstidla L ŽST Zadní Třebaň.

2.7. ŽST Zadní Třebaň

ŽST Zadní Třebaň se nachází v km 26,238 (*km 25,176 – 27,193*).

Zabezpečovací zařízení je elektromechanické, II. kategorie. Provoz zajišťuje jeden výpravčí a jeden signalista.

Jedná se o stanici odbočnou – odbočuje zde trať č. 172/715B do Litně a Lochovic. Ve stanici jsou 2 průběžné dopravní koleje č. 1 a 2 pro odjezdy/vjezdy od/do Řevnic, dopravní kolej č. 5 pro odjezdy/vjezdy od/do Litně a dopravní kolej č. 7 pro odjezdy do Litně. Koleje 5 a 7 jsou bez trolejového vedení.

Kolejové uspořádání je omezené, kolejové spojky průběžných kolejí na řevnickém zhlaví nejsou vybudovány, na zhlaví Berounském je pouze 1 kolejová spojka pro jízdy z/na liché kolejové skupiny na/z 2. TK.

Nejvyšší rychlost při jízdě do odbočky je 40 km/h.

Stanice je poloperonizovaná:

nástupiště I. – 7. kolej – jednostranné úrovňové;	40 m
nástupiště II. – 5. kolej – jednostranné úrovňové;	92 m
nástupiště III. – 1. kolej – jednostranné úrovňové;	229 m
nástupiště IV. – 2. kolej – jednostranné mimoúrovňové;	245 m

V obvodu stanice se nachází přejezd v km 25,804.

Traťovým zabezpečovacím zařízením v obou přilehlých mezistaničních úsecích trati 721 je hradlový poloautomatický blok.

Provoz na trati 715B je dle předpisu SŽDC D3 se sídlem dirigujícího dispečera v ŽST Březnice.

2.8. ŽST Karlštejn

ŽST Karlštejn se nachází v km 29,727 (*km 29,305 – 30,804*).

Zabezpečovací zařízení je elektromechanické, II. kategorie. Provoz zajišťuje jeden výpravčí a dva signalisté na stavědlech.

Ve stanici jsou 2 průběžné dopravní koleje a 3 předjízdne dopravní koleje, nejvyšší rychlost při jízdě do odbočky je 40 km/h.

Stanice je poloperonizovaná:

nástupiště I. – 4. kolej – jednostranné úrovňové;	132 m
nástupiště II. – 2. kolej – jednostranné úrovňové;	267 m
nástupiště III. – 1. a 5. kolej – ostrovní mimoúrovňové;	267 m

V obvodu stanice se nachází 2 přejezdy a to v km 29,399 a 30,468.

Traťovým zabezpečovacím zařízením v obou přilehlých mezistaničních úsecích je hradlový poloautomatický blok.

2.9. Traťový úsek Karlštejn – Beroun os.n.

V mezistaničním úseku se nacházejí hradla Korno a Tetín, traťovým zabezpečovacím zařízením je hradlový poloautomatický blok, s vazbou na kolejové obvody reléového SZZ ŽST Beroun os.n. nacházející se v úseku Hr. Tetín – Beroun.

V úseku se nachází zastávka Srbsko.

2.10. ŽST Beroun

ŽST Beroun se nachází v km 38,865 (*km 37,197 – km 42,709.*)

Jedná se o odbočnou stanici, kdy odbočnou tratí je trať č. 520 směr Beroun-Závodí (a dále Rakovník/Praha-Smíchov).

Pokračováním trati 521 je trať 713 směr Zdice (Plzeň – Cheb).

Stanice je rozdělena na obvod osobního nádraží a seřadovacího nádraží.

Obvod osobního nádraží je zabezpečen reléovým zabezpečovacím zařízením 3. kategorie, provoz zajišťují 3 výpravčí – výpravčí hlavní služby, panelový výpravčí a výpravčí vnější služby.

Jsou zde 2 hlavní průběžné dopravní koleje, 8 předjízdných dopravních kolejí a 2 kusé dopravní koleje. Rychlost při jízdě do odbočky je vždy 40 km/h.

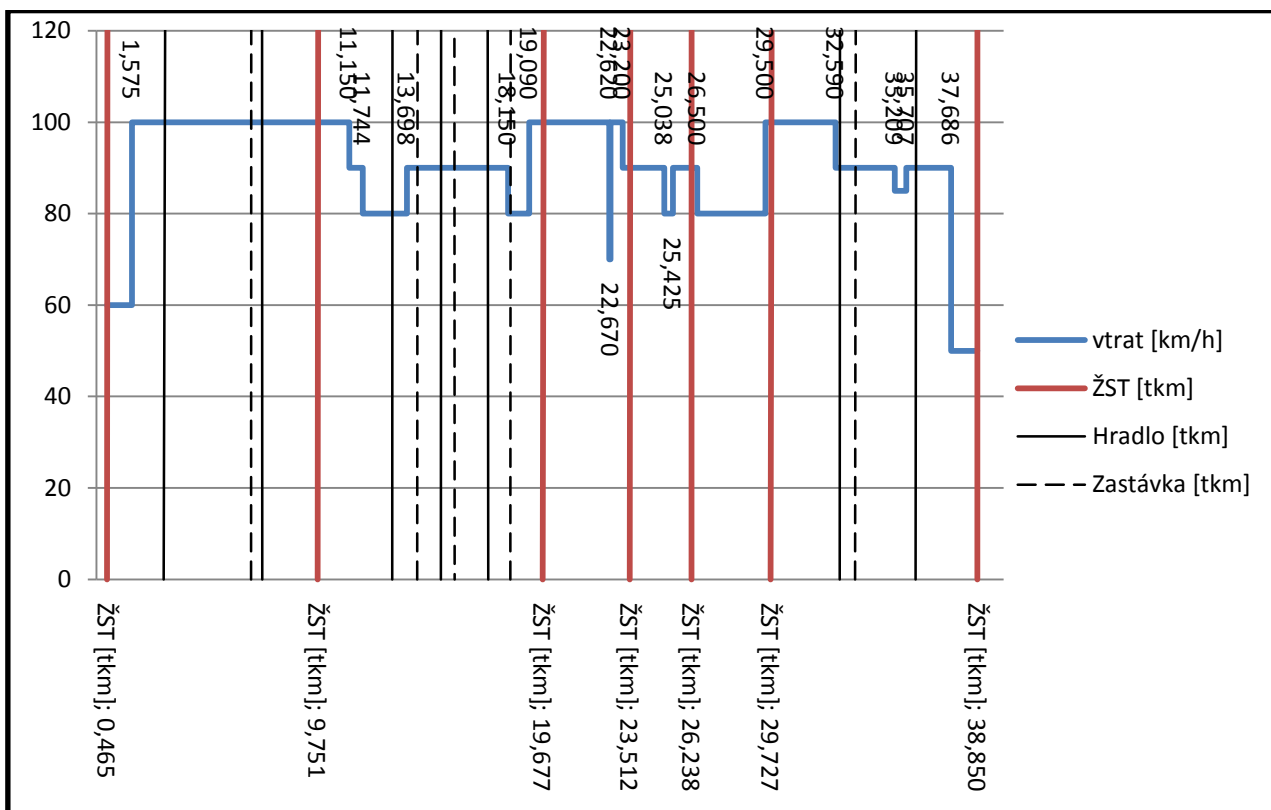
Stanice je plně peronizovaná, nachází se zde tato úrovňová nástupiště:

č. IA – oboustranné úrovňové, kolej 12b a manipul. kolej 14	196 m pro kolej 12b 117 m pro kolej 14
č. I – oboustranné/jednostranné úrovňové, kolej 8 a 10 b	282 m pro kolej 8 216 m pro kolej 10b
č. II – mimoúrovňové ostrovní, koleje č. 2 a 4	364 m
č. III – mimoúrovňové ostrovní, koleje č. 1 a 3	350 m

Obvod seřadovacího nádraží je zabezpečen elektromechanickým zabezpečovacím zařízením, jeho součástí jsou průběžné dopravní koleje navazující na 1. a 2. DK obvodu osobního nádraží a dalších 24 dopravních kolejí.

2.11. Rychlostní profil

Na následujícím obrázku je znázorněn rychlostní profil trati 521.



Obr. 1, rychlostní profil trati 521 [tkm / km/h]. Zdroj: SŽDC 2016

3. Analýza stávajícího provozu a stanovení propustnosti trati

Za současný provoz považují GVD 2015/2016, mimořádná změna s platností od 4. dubna 2016. Pro potřeby této části práce považují za druh vlaku R všechny vlaky kategorie R, Ex, EC a SC. Vzhledem k tomu, že se doprava na trati odehrává v taktu, jsou výpočty týkající se propustnosti počítány nejen pro periodu $T = 24$ h ale i pro periodu $T = 1$ h, která může lépe popsat výslednou využitelnou propustnost.

Vzhledem k heterogenitě nákladních vlaků na zkoumané trati a z toho plynoucích rozdílů v jejich jízdnicích dobách využívám pro potřeby analýzy provozu jízdnicí doby a následná mezidobí té kategorie nákladních vlaků (pomalý/střední/rychlý atp.), která nejvíce odpovídá odhadu jízdnicích dob a následných mezidobí „průměrného či středního“ nákladního vlaku v konkrétním mezistaničním úseku. Tento postup je podpořen faktem, že bohužel nemám k dispozici přesné údaje o dopravních parametrech konkrétních nákladních vlaků. Vzhledem k citlivému přístupu k problému je velmi pravděpodobné, že drtivá většina nákladních vlaků projíždějících úsekem by byla schopna jízdnicí doby „univerzální“ trasy dodržet.

Trasa nákladního vlaku bude označována jako trasa N, trasa osobního vlaku jako trasa Os.

3.1. Současný provoz

- **Osobní vlaky linky S7 PID (Český Brod/Úvaly – Praha hl.n. – Beroun a zpět)** s drobnými výjimkami
 - takt 60 minut v celém úseku Praha hl.n. – Beroun
 - takt 30 minut v úseku Praha hl.n. – Řevnice, v ranní špičce a cca od 12 do 19 hodin rozšířený na celý úsek Praha hl.n. – Beroun
 - ve špičce pracovních dnů provoz v úseku Praha hl.n. – Řevnice v intervalu 10-20-10-20 minut
 - v ranní špičce v úseku Praha-Radotín – Praha hl.n. doplnění provozu na takt 10 minut
 - v pracovní dny v rozšířené odpolední špičce (od 13 do 20 hodin) provoz odpovídající vlastní odpolední špičce, ale jen v úseku Praha hl.n. – Praha-Radotín
- **Vlaky R v úseku Praha hl.n. – Beroun – Plzeň hl.n. (dále ozn. R1)**
 - takt 60 minut
 - *linka Praha hl.n. – Plzeň hl.n. (- Cheb) takt 120 minut*
 - *linka Praha hl.n. – Plzeň hl.n. – Klatovy (- Železná Ruda-Alžbětín) takt 240 minut*
 - *linka Praha hl.n. – Plzeň hl.n. – München Hbf (DB) takt 240 minut*
doplněné v určitých hodinách na interval 30 minut v úseku Praha hl.n. – Beroun
 - *2 páry vlaků SC Pendolino, jedoucí přibližně v časové poloze odpovídající polovině taktu*
- **Soupravové vlaky**, některé jedou každý pracovní den, jiné zajišťují přetah jednotek 471 do/z Berouna v okrajových částech týdne (1x týdně)
- **Nákladní vlaky**, kromě páru vlaků Mn 85042/Mn 85043 vedené v celém úseku Beroun – Praha-Radotín a dále přes Prahu-Krč, jindy přes Prahu-Smíchov a zpět

Vzhledem k tomuto charakteru provozu byl provoz kvantifikován ve třech úsecích a to

- A) Praha-Smíchov – Praha-Radotín a
- B) Praha-Radotín – Dobřichovice.
- C) Dobřichovice – Řevnice

V těchto úsecích je v GVD zakreslen největší počet tras. Spektrum druhů vlaků je však v obou úsecích odlišné. V úseku A je větší množství Os vlaků, neboť některé ze spojů linky S7 jsou vedeny pouze v úseku (Český Brod/Úvaly –) Praha hl.n. – Praha-Radotín a zpět. V úseku B a C je zakresleno naopak více tras nákladních vlaků, vedených přes ŽST Praha-Krč.

Údaje o současném provozu jsou uvedeny v tabulkách 1, 2 a 3.

A) Praha-Smíchov – Praha-Radotín

Druh vlaku	Sudý směr (S)	Lichý směr (L)	V obou směrech
Os	68	65	133
R	26	27	53
Vlaky osobní dopravy celkem	94	92	186
Sv	3	4	7
N	1	2	3
Lv	0	0	0
CELKEM	98	98	196

Tab. 1, počet tras vlaků v úseku. Zdroj: SŽDC 2016

Pozn.: V tabulce není uveden vlak Ruš. R 13450, jedoucí jen dvakrát v rámci platnosti GVD.

B) Praha-Radotín – Dobřichovice

Druh vlaku	Sudý směr (S)	Lichý směr (L)	V obou směrech
Os	55	54	109
R	26	27	53
Vlaky osobní dopravy celkem	81	81	162
Sv	1	1	2
N	15	17	32
Lv	0	0	0
CELKEM	97	99	196

Tab. 2, počet tras vlaků v úseku. Zdroj: SŽDC 2016

Pozn.: V tabulce není uveden vlak Ruš. R 13450, jedoucí jen dvakrát v rámci platnosti GVD.

C) Dobřichovice - Řevnice

Druh vlaku	Sudý směr (S)	Lichý směr (L)	V obou směrech
Os	55	54	109
R	26	27	53
Vlaky osobní dopravy celkem	81	81	162
Sv	1	1	2
N	14	16	30
Lv	0	0	0
CELKEM	96	98	194

Tab. 3, počet tras vlaků v úseku. Zdroj: SŽDC 2016

Pozn.: V tabulce není uveden vlak Ruš. R 13450, jedoucí jen dvakrát v rámci platnosti GVD.

3.2. Maximální propustnost – analytická metoda

Maximální propustnost byla stanovena nejprve analytickou metodou a to pro všechny tři úseky uvedené v kap. 3.1. podle Molková et al. 2010, str. 35.

A) Praha-Smíchov – Praha-Radotín

Sudý směr (1. TK)

- 1) Výpočetní doba $T = 1440 \text{ min}$
- 2) Celkový počet vlaků $N = 98$
- 3) Celková doba obsazení t_{obs} byla vypočtena jako součet následných mezidobí jednotlivých vlaků. U nákladních vlaků byla v tomto úseku použita následná mezidobí pro nákl. vlak střední (lok. ř. 363 + 2100 t) dle tabulek následných mezidobí. (SŽDC 2008-2011).

$$\Sigma t_{obs} = 545,5 \text{ min}$$

- 4) Průměrná doba obsazení $t_{obs} = \frac{\Sigma t_{obs}}{N} = 5,57 \text{ min}$

- 5) Maximální propustnost $N_{max} = \frac{T}{t_{obs}} = 258 \text{ vlaků}$

Lichý směr (2. TK)

- 1) Výpočetní doba $T = 1440 \text{ min}$

- 2) Celkový počet vlaků $N = 98$

- 3) Celková doba obsazení $\Sigma t_{obs} = 529,5 \text{ min}$

- 4) Průměrná doba obsazení $t_{obs} = \frac{\Sigma t_{obs}}{N} = 5,40 \text{ min}$

- 5) Maximální propustnost $N_{max} = \frac{T}{t_{obs}} = 266 \text{ vlaků}$

B) Praha-Radotín – Dobřichovice

Sudý směr (1. TK)

- 1) Výpočetní doba $T = 1440 \text{ min}$

- 2) Celkový počet vlaků $N = 97$

- 3) Celková doba obsazení t_{obs} . U nákladních vlaků byla v tomto úseku použita následná mezidobí pro nákl. vlak pomalý dle tabulek následných mezidobí. (SŽDC 2008-2011)

$$\Sigma t_{obs} = 551,5 \text{ min}$$

- 4) Průměrná doba obsazení $t_{obs} = \frac{\Sigma t_{obs}}{N} = 5,69 \text{ min}$

- 5) Maximální propustnost $N_{max} = \frac{T}{t_{obs}} = 253 \text{ vlaků}$

Lichý směr (2. TK)

- 1) Výpočetní doba $T = 1440 \text{ min}$

- 2) Celkový počet vlaků $N = 99$

- 3) Celková doba obsazení $\Sigma t_{obs} = 480,5 \text{ min}$

- 4) Průměrná doba obsazení $t_{obs} = \frac{\Sigma t_{obs}}{N} = 4,85 \text{ min}$

- 5) Maximální propustnost $N_{max} = \frac{T}{t_{obs}} = 296 \text{ vlaků}$

C) Dobřichovice - Řevnice

Pro tento úsek nebyla k dispozici tabulka následných mezidobí, protože mezistaniční úsek mezi oběma dopravnami tvoří pouze jeden prostorový oddíl. Byla proto vytvořena tabulka dílčích následných mezidobí pro trať z hodnot provozních intervalů následné jízdy podle metodiky Směrnice SŽDC č. 104, článek 8.2.

Ten stanoví, že *pokud je mezi zadní a přední dopravou jeden prostorový oddíl, dílčí následné mezidobí pro trať je určeno jako součet doby jízdy prvního vlaku ze zadní do přední dopravní a provozního intervalu následné jízdy pro tento oddíl, tzn.: $M_T = j(Z, P)_1 + PINJ$ (SŽDC 2013a).*

PINJ se stanoví jako

$$PINJ = PINJ_S + PINJ_D,$$

kde $PINJ_S$ je statická složka provozního intervalu a $PINJ_D$ je dynamická složka provozního intervalu.

$PINJ_S$ se v případě určí jako součet dílčích technologických procesů, jejichž trvání určuje Směrnice č. 104, SŽDC 2013a.

- St. zadní dopravní – odhláška HPB – koncové traťové hradlo 0,1 min
- DK přední dopravní – přestavení posuvného knoflíku, přeložení směrového závěrníku 0,05 min
- DK přední dopravní – uvolnění návěstního hradla, obsluha hradlového zvonku 0,15 min
- St. přední dopravní – obsluha hradlového zvonku, přeložení kolejového závěrníku, uzavření závěru výměn, postavení hlavního návěstidla (bez přestavení výměn) 0,45 min

souběžně

St. 2 Dobřichovice – uzavření přejezdu v km 19,979

$T = T_p + T_s$, kde T_p je doba předzvánění 17,85 s a T_s je doba pro stažení závor 5 s

$$T = 23 \text{ s} = 0,38 \text{ min}$$

tedy statická složka $PINJ_S = 0,75 \text{ min}$

Dynamická složka $PINJ_D$ je vypočítána pro jednotlivé kombinace kategorií vlaku prvního a druhého pomocí linearizovaného jízdního cyklu. Hodnoty rozjezdového a brzdného zrychlení a_r a a_b jednotlivých kategorií Os, R, N byly získány odvozením od linearizovaného jízdního cyklu splňujícího současně jízdní doby.

Tyto hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

	a_r [ms^{-2}]	a_b [ms^{-2}]
R	0,3	0,5
Os	0,4	0,6
N	0,12	0,4

Tab. 4, použité hodnoty rozjezdového a brzdného zrychlení. Zdroj: autor

Dynamické složky $PINJ_D$ jsou uvedeny v tabulce 5. Výsledné hodnoty dílčích následných mezidobí pro trať pak v tabulce 6.

Dynamická složka PINJ [min]		Řevnice - Dobřichovice Traťová kolej 1			Dynamická složka PINJ [min]		Dobřichovice - Řevnice Traťová kolej 2		
Jede jako první	Druh vlaku	Jede jako druhý			Jede jako první	Druh vlaku	Jede jako druhý		
		1	2	3			1	2	3
		R (PP)	Os (ZZ)	N (PP)			R (PP)	Os (ZZ)	N (PP)
1	R (PP)	0,478	-0,235	0,33	1	R (PP)	0,467	-0,252	0,637
2	Os (ZZ)	0,435	-0,278	0,287	2	Os (ZZ)	0,262	-0,457	0,432
3	N (PP)	0,555	-0,158	0,407	3	N (PP)	0,537	-0,182	0,707

Tab. 5, dynamické složky provozních intervalů následné jízdy Dobřichovice - Řevnice. Zdroj: autor

Tabulka dílčích následných mezidobí pro trať [min]			Řevnice - Dobřichovice Traťová kolej 1			Tabulka dílčích následných mezidobí pro trať [min]			Dobřichovice - Řevnice Traťová kolej 2		
Jede jako první	Druh vlaku	Jízdní doba	Jede jako druhý			Jede jako první	Druh vlaku	Jízdní doba	Jede jako druhý		
			1	2	3				1	2	3
			R (PP)	Os (ZZ)	N (PP)				R (PP)	Os (ZZ)	N (PP)
1	R (PP)	2,5	4	3,5	4	1	R (PP)	2,5	4	3	4
2	Os (ZZ)	3,5	5	4	5	2	Os (ZZ)	3,5	5	4	5
3	N (PP)	3,5	5	4,5	5	3	N (PP)	4	5	4,5	5

Tab. 6, dílčí následná mezidobí Dobřichovice - Řevnice. Zdroj: autor

Dále stanovuji maximální propustnost úseku.

Sudý směr (1. TK)

- 1) Výpočetní doba $T = 1440 \text{ min}$
- 2) Celkový počet vlaků $N = 96$
- 3) Celková doba obsazení t_{obs} . U nákladních vlaků byla v tomto úseku použita následná mezidobí pro nákl. vlak pomalý dle *tabulek následných mezidobí*. (SŽDC 2008-2011).

$$\Sigma t_{obs} = 414 \text{ min}$$
- 4) Průměrná doba obsazení $t_{obs} = \frac{\Sigma t_{obs}}{N} = 4,31 \text{ min}$
- 5) Maximální propustnost $N_{max} = \frac{T}{t_{obs}} = 334 \text{ vlaků}$

Lichý směr (2. TK)

- 1) Výpočetní doba $T = 1440 \text{ min}$
- 2) Celkový počet vlaků $N = 98$
- 3) Celková doba obsazení $\Sigma t_{obs} = 413,5 \text{ min}$
- 4) Průměrná doba obsazení $t_{obs} = \frac{\Sigma t_{obs}}{N} = 4,21 \text{ min}$
- 5) Maximální propustnost $N_{max} = \frac{T}{t_{obs}} = 342 \text{ vlaků}$

3.3. Maximální propustnost – grafická metoda

Maximální propustnost trati grafickou metodou byla v bakalářské práci Biskup 2014b, na kterou navazují, zjištěna dle metodiky uvedené v Molková et al. 2010, a to pro periodu $T = 1\text{h}$. Vzhledem k tomu, že se doprava odehrává právě s touto periodou a perioda bude zároveň použita pro návrhy budoucích grafikonů, vystihuje hodnota zjištěná graficky realitu lépe.

Omezující úseky pro tvorbu maximálně zaplněného jízdního řádu byly nalezeny na základě analýzy celkové doby obsazení t_{obs} jednotlivých mezistaničních úseků, pro typickou špičkovou hodinu, ve které projedou po celé trati 2 vlaky R, 4 vlaky osobní (Os) a jeden vlak nákladní (N).

Směr	Omezující úsek	Celková doba obsazení omezujícího úseku t_{obsu} [min]
Lichý (Praha - Beroun)	Praha-Smíchov - Praha-Radotín	37,5
Sudý (Beroun - Praha)	Dobřichovice - Praha-Radotín	40

Tab. 7, omezující úseky z hlediska kapacity dráhy. Zdroj: Biskup 2014b.

Byl vytvořen maximálně zaplněný jízdní řád. Trasy vlaků byly vkládány tak, aby poměr tras vlaků R/Os/N co nejvíce odpovídal současnému provozu. Podmínky tvorby

- žádné či minimální pobyty vlaků R a
- žádné či minimální prodloužení pobytů osobních vlaků,
- minimální prodlužování jízdních dob

byly dodrženy. K prodloužení pobytů a zastavení bylo nutné přistoupit jen u trasy nákladního vlaku.

Hodnoty maximální propustnosti zjištěné graficky jsou v tabulce 4 srovnány s hodnotami propustnosti zjištěnými analyticky.

Směr	N_T				N_{max}	N_{maxan}
	Počet vlaků za $T = 1h$					
	Os	N	R	CELKEM	Maximální propustnost [vl/den]	Maximální propustnost analyticky [vl/den]
Lichý (Praha-Smíchov - Beroun os.n.)	5	2	3	10	240	266
Sudý (Beroun os.n. - Praha-Smíchov)	5	1	3	9	216	253

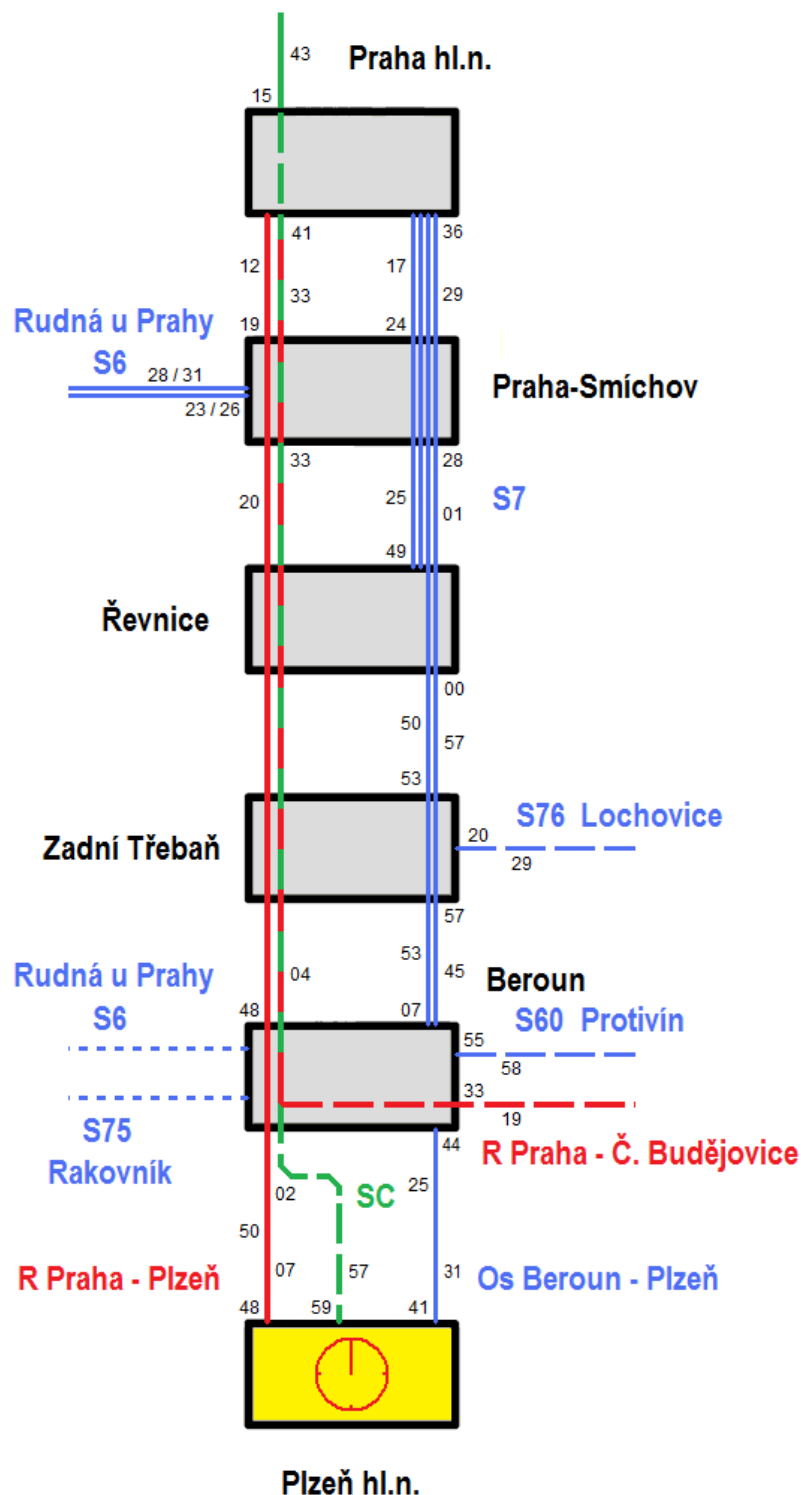
Tab. 8, počet tras realizovatelných v rámci špičkové hodiny (N_T), výsledná maximální propustnost N_{max} a srovnání s maximální propustností zjištěnou analyticky N_{maxan} . Zdroj: autor

3.4. Síťová grafika a vnější vazby

Elementární součástí úvah o provozu na trati 521 musí být analýza vnějších vazeb vlaků osobní dopravy. Jak vlaky linky S7, tak i dálková doprava je provázána přípoji na jiné linky. Časové polohy spojů osobní dopravy platného jízdního řádu jsou znázorněny v síťové grafice – obr. 2.

Je nutné vědět, že tato síťová grafika nám neposkytuje informace o všech vazbách v dopravním systému. Všechny linky S jsou součástí systému Pražské integrované dopravy. Zejména v jejich případě pak existuje vazba i na jiné dopravní módy. Vzhledem k tomu, že stavební práce omezí zásadním způsobem kapacitu trati a již v bakalářské práci Biskup 2014b se ukázalo, že tato omezení umožní jen velmi malé množství dopravních řešení s ohledem na významné vazby dálkové dopravy a vlaků S linek navzájem, nebudou vazby na jiné dopravní módy součástí konstrukčních úvah. Železnici je zvláště v tomto případě potřeba brát za

pátevní prvek architektury integrovaného systému a provoz na linkách nižšího stupně jí plně přizpůsobit. Následující kapitoly uvádí přehled vazeb linek na trati 521, pro úplnost včetně přípojů linek MHD.



Obr. 2, síťová grafika. Zdroj: autor

pozn.: dlouze přerušovaná čára
krátce přerušovaná čára

žluté pole

= takt 120 minut ve špičce/urč. část dne

= doprava organizována nepravidelně či pravidelně bez
přestupních vazeb

= taktový uzel v 00 minut

3.4.1. Osobní vlaky linky S7

- **Přestupní vazba v ŽST Praha-Smíchov od Prahy hl.n. na vlaky linky S6 do Berouna a opačně v časové poloze 00 a 30.**
- **Přestupní vazba v ŽST Zadní Třebaň od Prahy na vlaky linky S76 do Lochovic a opačně v polovině taktu – 30.**
- **Přestupní vazba v ŽST Beroun na osobní vlaky do Plzně hl.n. a opačně.**
- Přestupní uzel pražské MHD v ŽST Praha-Radotín – BUS směr Sídliště Radotín, Lahovská, Zbraslav, Lochkov, Slivenec, Barrandov, Řeporyje, Třebotov – Zličín, Kosoř – Choteč.
- Přestup v zastávce Černošice na BUS směr Vráž – Karlík, Solopisky – Vonoklasy, Roblín.
- Přestup v ŽST Dobřichovice na BUS směr Všenory – Řitka – Mníšek p/B, Karlík.
- Přestupní uzel MHD Beroun u železniční stanice, vazba na další autobusové linky.

3.4.2. Vlaky vyšší kategorie

Pro vlaky R Praha – Plzeň

- **Přestupní vazba v ŽST Beroun na vlaky linky S60 v časové poloze 00.**
- **Taktový uzel v ŽST Plzeň hl.n. v časové poloze 00.**
- Vazba na systémy hromadné dopravy dalších měst.

Pro vlaky R Praha – České Budějovice

- Přestupní vazby v navazujících úsecích nejsou významné.

Pro vlaky SC Bohumín – Františkovy Lázně

- Přímá vazba na úsek Praha – Bohumín a Plzeň – Františkovy Lázně, některé přípojné vlaky v ŽST Plzeň hl.n.

Zvláště důležitým požadavkem je zachování vazby rychlíků Praha – Plzeň na taktový uzel v Plzni hlavním nádraží. V jízdní době úseku Beroun – Plzeň hlavní nádraží existuje v současném jízdním řádu rezerva 3 – 5 minut, o kterou by bylo teoreticky možné jízdní dobu zkrátit, ovšem se všemi z toho plynoucími důsledky. V úseku Chrást u Plzně – Plzeň v současné době probíhají rekonstrukční práce a doprava je organizována po jedné traťové koleji, což by mohlo nežádoucí dopady smazání rezerv potencovat. Jako vhodnější opatření se jeví možnost posunout odjezdy resp. příjezdy rychlíků v Plzni blíže ose symetrie. V případě zajištění volných staničních kolejí v ŽST Plzeň hlavních nádraží, které prochází modernizací, úpravě časových poloh dotčených vlaků v navazujících úsecích za Plzni a vyřešení problému časových rezerv nutných pro přepřah lokomotiv, by takové řešení mělo být v praxi použitelné.

Posunutí časových poloh vlaků SC není vzhledem k úseku Praha – Bohumín a zpět problematické, vzhledem k tomu, že doba pobytu v Praze hl.n. je velká (22, resp. 27 minut). Tyto pobyty lze jistě zkrátit, v případě potřeby i prodloužit. Problematická je spíše vazba na úsek Plzeň hl.n. – Cheb, resp. zajištění přestupů v Plzni hl.n. Vlaky SC sice nečekají v celé délce na přípoje, nejsou systémové a odjezd z Plzně do Prahy v 57 minut je ještě před časem symetrie 00, nicméně v podstatě splňují časové podmínky taktového uzlu. Úprava jejich časových poloh by spíše než u rychlíků mohla znamenat rozvázání přestupních vazeb. Tato

přestupní vazba by však mohla být zajištěna rychlíkem Praha – Plzeň hl.n. a zpět, který je součástí stejné taktové periody.

Závěrem této kapitoly je nutné poznamenat, že není dosud zcela jasné, kdy budou rekonstrukční práce probíhat. Poslední známý termín stavby Černošice (včetně) – Beroun (mimo) byl stanoven na léta 2016 – 2018, který se opět nepodařilo dodržet. Je proto možné, že stavební práce budou probíhat až po dokončení a zprovoznění přeložky pod vrchem Chlum mezi ŽST Ejpovice a Plzeň hl.n., což umožní v důsledku výrazného zkrácení jízdních dob uplatnění větších časových posunů tras vlaků kategorie R, nebo dokonce vytvoření nové výlukové provozní koncepce.

4. Možnosti odklonové vozby

Jelikož si stavební práce vyžádají výrazné omezení kapacity trati, bude v rámci jednotlivých stavebních postupů velmi vhodné využití možností odklonové vozby. Trať 173/520A nabízí volnou kapacitu, kterou je možné využít při stavebních pracích ve všech úsecích. V rámci prací v úseku Praha-Smíchov (mimo) – Praha-Radotín zároveň možnost odklonů přes Prahu-Krč a dále do Prahy-Vršovic obvodu osobního nádraží či obvodu čekacích kolejí. V práci Biskup 2014b byly zhodnoceny kapacitní možnosti těchto tras.

„Při využití uvedených tratí pro odklonovou vozbu je ovšem třeba především u trati 520A přes Rudnou u Prahy respektovat mnohá omezení, jako je možnost použití vozidel výhradně nezávislé trakce, jiná dovolená traťová třída zatížení, nedostatečná délka dopravních kolejí ve stanicích pro nákladní vlaky, nepříznivé sklonové poměry trati a z toho plynoucí nutnost použití dostatečného počtu dostatečně výkonných hnacích vozidel.“ Biskup 2014b

4.1. Odklonová vozba přes Rudnou u Prahy (trať 520A)

Trať 173/520A v současné době slouží téměř výhradně vlakům linky S6 Praha-Smíchov – Nučice (– Beroun), provozované ve špičce v 60-ti minutovém taktu doplněném na 30-ti minutový.

Dovolená traťová třída zatížení je

B2 (18 t / 6,4 t) v úseku Praha-Smíchov – Rudná u Prahy (limitující)

C2 (20 t / 6,4 t) v úseku Rudná u Prahy – Beroun-Závodí

C3 (20 t / 7,2 t) v úseku Beroun-Závodí – Beroun os.n.

Analyticky bylo zjištěno, že limitujícím je mezistaniční úsek Nučice – Loděnice s maximální propustností 5,71 vl/h, nevyužitá kapacita je však při pouze jednom zavedeném páru vlaků ve špičkové hodině 3,71 vl/h. Z pohledu nevyužité kapacity je proto limitujícím mezistaniční úsek Praha-Řeporyje – Rudná u Prahy s maximální propustností 6,32 vl/h a tudíž nevyužitou kapacitou pouze 2,32 vl/h.

Graficky bylo ověřeno, že je možné sestavit grafikon s třemi páry tras v úseku Praha-Smíchov – Nučice s dvěma páry pokračujícími do Berouna. Je tedy teoreticky možné provést jeden pár odklonových vlaků bez omezení množství spojů linky S6. Toto řešení však není možné doporučit během celých dopravních špiček z následujících důvodů

- úsek Praha-Řeporyje – Rudná u Prahy s maximální propustností 6,32 vl/h má při 6 trasách využití propustnosti 95%, tedy mezeru pouhé 3 minuty, což rozhodně neodpovídá požadavkům na stabilní provoz během celého dne
- umístění dopraven a nestejná délka mezistaničních oddílů si vyžádá velké doby pobytů během křížování, při užití vzorových tras vlaků linky S6 se jedná o 36 minut čekání na špičkovou hodinu, což odpovídá průměrně šesti minutám na spoj.

Pár odklonových vlaků tedy lze ve špičce bez omezení vlaků linky S6 vložit pouze v případě, že se nebude periodicky opakovat každou hodinu, ale méně často. Bude jinými slovy poskytnuta dostatečná časová záloha na likvidaci zpoždění v rámci delšího časového úseku. V případě primárního zpoždění lze ovšem i při respektování časových záloh očekávat sekundární přenos na více vlaků a dopravní komplikace.

Vložení odklonového spoje v počtu jeden za hodinu pouze v jednom směru doporučit lze.

Prověřována byla i varianta celodenního vedení páru vlaků (kategorie R) odklonem přes Rudnou u Prahy za minimalizace celkové jízdní doby z Berouna do Prahy s omezením jízdy vlaků linky S6 na jeden pár za hodinu. Při respektování vnějších vazeb, viz dále, a času potřebného na přeprah v Berouně byl vytvořen jízdní řád, kdy dochází ke křížování R tras v Loděnici a výh. Prokopské údolí, s minimálními pobyty při křížování, celkovou jízdní dobou 51,5 minuty resp. 49,5 minuty, nárůst oproti jízdě po trati 171 je pak 30,5 resp., 27,5 minuty. Toto řešení si vyžádá celkovou dobu pobytů osobních vlaků cca 15 minut za špičkovou hodinu.

4.2. Odklonová vozba přes železniční stanici Praha-Krč

V práci Biskup 2014b byly zhodnoceny i kapacitní možnosti odklonů přes Prahu-Krč. Odklony nákladní dopravy není v podstatě vůbec potřeba řešit, neboť se v úseku Praha-Smíchov – Praha-Radotín nachází pouze 2 resp. 1 trasa v jednotlivých směrech.

Pro odklony osobní dopravy je z hlediska propustnosti limitující samotné rameno Praha-Krč – Praha-Vršovice obv. os.n. Ve špičkové hodině jsou v GVD zakresleny 2 páry tras vlaků linky S8 resp. S80. Průměrná doba obsazení je 7 minut (SŽDC 2016), kapacita trati je tedy 8 tras/h. ***V případě vedení odklonů tímto mezistanicím úsekem ve špičce pracovního dne lze doporučit zakreslení dvou odklonových tras navíc. Třetí trasu lze zodpovědně z pohledu stability vložit pouze v případě, že se bude jednat o pouze několik špičkových hodin v rámci dne, které nebudou následovat přímo po sobě. Třetí vložená trasa znamená dobu obsazení 49 minut, která již nezaručuje dlouhodobý stabilní provoz.***

5. Identifikace problematických stavebních postupů

Rekonstrukce trati Praha – Beroun je rozdělena na dvě samostatné stavby, které budou probíhat postupně chronologicky:

- stavbu Praha-Smíchov (mimo) – Černošice (mimo), původní termín realizace 2013
a
- stavbu Černošice (včetně) – Beroun (mimo), původní termín realizace 2016 – 2018

Během projektování a plánování rekonstrukce zřejmě došlo ke změnám, neboť z dostupné dokumentace SUDOP Praha a.s. 2012a a SUDOP Praha a.s. 2012b je zřejmé, že konec stavby Praha-Smíchov (mimo) – Černošice (mimo) se nachází již v místě přejezdu na berounském zhlaví ŽST Praha-Radotín v km 10,027. V tomto místě navazuje stavba druhá.

Stavba Praha-Smíchov (mimo) – Černošice (mimo) probíhá v úseku od radotínského zhlaví ŽST Praha-Smíchov (cca km 1,5) po přejezd na berounském zhlaví ŽST Praha-Radotín v km 10,027. Je rozdělena na čtyři stavební postupy pro potřeby práce označené A – D. V rámci nich dojde nejprve k vybudování provizorních odboček Praha-Velká Chuchle a Barrandov. Odbočka Praha-Velká Chuchle bude vybudována v km cca 6,2 vložím koleje spojky umožňující jízdu z 1. TK Praha-Radotín – Odb. Tunel na 1. TK Praha-Radotín –

Praha-Smíchov, odbočka Barrandov pak cca v km 3,3 vložím kolejových spojek umožňujícím přejetí na/z nesprávné koleje v obou směrech. Následně dojde k postupné výluce a rekonstrukci 1. a 2. TK v úseku Praha-Smíchov – Odb. Barrandov a k dílčím úpravám ŽST Praha-Radotín.

Stavební postup C zahrnuje výluky a rekonstrukci 2. TK v úseku odb. Barrandov – Praha-Radotín spolu s 2. TK odb. Tunel – Praha-Radotín, vložení kolejové spojky do těchto traťových kolejí v km 6,2 a tím vytvoření první části odbočky Praha-Velká Chuchle v konečné podobě. Dále pak výstavbu části zastávky Praha-Velká Chuchle v nové poloze, cca v km 6,4 u vnější traťové koleje a přestavbu celé sudé kolejové skupiny ŽST Praha-Radotín krom kolejí 10 a 12, kterou budou vytrhány. Bude vybudováno mimoúrovňové nástupiště pro koleje 2, 4 kusá a 6.

Stavební postup D je postupem analogickým, jedná se o rekonstrukci 1. TK v úseku odb. Barrandov – Praha-Radotín spolu s 1. TK odb. Tunel – Praha-Radotín, vytvoření druhé části odb. Praha-Velká Chuchle v definitivní podobě, výstavba druhé části zastávky Praha-Velká Chuchle v nové poloze u vnější traťové koleje. Definitivní zrušení původní zastávky Praha-Velká Chuchle s podchodem a v neposlední řadě o přestavbu liché kolejové skupiny ŽST Praha-Radotín včetně vybudování 2 mimoúrovňových nástupišť.

Nakonec dojde ke snesení provizorních výhybek odbočky Barrandov a tato bude zrušena. Výslednou traťovou rychlost v úseku odhaduji na 120 km/h.

Následná stavba Černošice (včetně) – Beroun (mimo) probíhá od km 10,027 ŽST Praha-Radotín (včetně části berounského zhlaví, které je rekonstruováno) do km 37,6. Je rozdělena na větší množství stavebních postupů, kdy je vyloučena a rekonstruována jedna traťová kolej nebo část železniční stanice. V případě, že je rekonstruována železniční stanice, je v této stanici k dispozici jedna kolejová skupina pro jízdy vlaků rychlostí 40 km/h. Práce si vyžádají i některé krátkodobé úplné výluky. Většina těchto krátkodobých výluk bude probíhat v nočních pauzách, ale není se ovšem možné vyhnout ani dvanácti jednodenním a několika dvoudenním úplným výlukám (SUDOP Praha a.s., 2012a).

Dostupný časový harmonogram stavby stanoví, že jsou v rámci jednoho stavebního postupu vyloučeny buď traťové koleje ve dvou úsecích nebo traťová kolej společně s částí jedné či dvou dopravních. Nejdelší mezistaniční úseky Praha-Radotín – Dobřichovice a Karlštejn – Beroun jsou rozděleny provizorními odbočkami na dílčí úseky, které budou rekonstruovány samostatně, aby omezení kapacity trati nebylo tak zásadní. Úsek Praha-Radotín – Dobřichovice bude rozdělen na tři dílčí úseky odbočkou Kosoř v km 12,8 a Odb. Černošice-Mokropsy v km 15,2. V Mokropsech bude vybudována 0. dopravní kolej pro obraty vlaků linky S7 a tudíž se odbočka v průběhu prací změní na ŽST Černošice-Mokropsy v km cca 15,6. Úsek bude Karlštejn – Beroun bude pak rozdělen odbočkou Lom, přesná poloha této odbočky nebyla při zpracování známa, s největší pravděpodobností se bude nacházet v polovině rozděleného mezistaničního úseku, tedy v km 34,3, každý z okolních mezistaničních úseků bude dlouhý cca 4,5 km.

V tabulce 9 je uveden původní harmonogram jednotlivých stavebních postupů, které byly pro snadnější orientaci označeny písmeny A – L.

Datum	Trvání [dnů]	Označení	Stavební postup a důsledky
15.3.16 - 23.3.16	9	A	Zřízení odboček Kosoř a Mokropsy - postupná výluka TK Praha-Radotín - Dobřichovice Zřízení odbočky Lom - postupná výluka TK Karlštejn - Beroun
24.3.16 - 11.6.16	80	B	Výstavba ŽST Mokropsy - postupná výluka TK Odb. Mokropsy - Dobřichovice Postupná rekonstrukce a výluka TK Odb. Lom - Beroun
12.6.16 - 31.7.16	49	C	Postupná rekonstrukce a výluka TK Praha-Radotín - Odb. Kosoř vč. výstavby zastávky Praha-Radotín sídliště Dokončení rekonstrukce a výluka 1. TK Odb. Lom - Beroun
1.8.16 - 8.12.16	130	D	Postupná rekonstrukce a výluka TK Praha-Radotín - Odb. Kosoř vč. výstavby zastávky Praha-Radotín sídliště Postupná rekonstrukce a výluka TK Karlštejn - Odb. Lom
9.12.16 - 10.12.16	2	E	Rušení odbočky Lom - postupná výluka TK Karlštejn – Beroun
15.3.17 -14.5.17	70	F	Rekonstrukce a výluka 1.TK Odb. Kosoř - Černošice-Mokropsy Rekonstrukce a výluka sudé kolejové skupiny ŽST Karlštejn
15.5.17 - 1.8.17	79	G	Postupná rekonstrukce a výluka TK Odb. Kosoř - Černošice-Mokropsy Postupná rekonstrukce a výluka kolejových skupin ŽST Řevnice Postupná rekonstrukce a výluka kolejových skupin ŽST Karlštejn
1.8.17 - 1.10.17	61	H	Postupná rekonstrukce a výluka TK Černošice-Mokropsy - Dobřichovice Dokončení rekonstrukce a výluka sudé kolejové skupiny ŽST Řevnice Rekonstrukce a výluka 1. TK Zadní Třebaň - Karlštejn
2.10.17 - 14.12.17	73	I	Dokončení rekonstrukce a výluka 2. TK Černošice-Mokropsy - Dobřichovice Rekonstrukce a výluka 2. TK Zadní Třebaň - Karlštejn
15.3.18 - 23.5.18	70	J	Rekonstrukce a výluka 1. TK Dobřichovice - Řevnice Rekonstrukce a výluka 1. TK Řevnice - Zadní Třebaň vč. kol.1,3 ŽST Zadní Třebaň
24.5.18 - 11.8.18	70	K	Rekonstrukce a výluka 2. TK Dobřichovice - Řevnice Rekonstrukce a výluka 2. TK Řevnice - Zadní Třebaň vč. kol. 2 ŽST Zadní Třebaň
8.8.18 - 15.12.18	130	L	Postupná rekonstrukce a výluka kolejových skupin ŽST Dobřichovice <i>Součástí tohoto postupu bude rekonstrukce železničního spodku bez snesení železničního svršku, pomocí stroje PM 200-2R, nebo RPM 2002. Dojde k výlukám některých traťových kolejí, které tento způsob rekonstrukce vyžadují vzhledem k podmínkám znemožňujícím rekonstrukci běžným způsobem (ochrana přírody, zástavba těsně přimykající k trati). Jedná se o postupnou přestavbu 2. TK v úseku Praha-Radotín - Černošice-Mokropsy, Dobřichovice - Beroun a 1. TK v úseku Zadní Třebaň - Beroun. Odpovídající výluky jsou stejné, jako výluky již zpracované v rámci stavebních postupů A - K.</i>

Tab. 9, stavební postupy stavby Černošice (včetně) – Beroun (mimo). Upraveno podle: SUDOP Praha a.s., 2012a.

V bakalářské práci Biskup 2014b byly graficky určeny kapacity jednotlivých vyloučených traťových úseků a byla vypočtena doporučená časová záloha podle metodiky SŽDC jako

$$z = 0,6161 + 0,3937 \cdot t_{obs},$$

kde z je doporučená časová záloha pro 1 trasu a t_{obs} je průměrný čas obsazení (Molková et al. 2010, str. 64) a metodiky UIC jako

$$z = 0,33 \cdot t_{obs} + 0,25 \cdot K_{mú},$$

kde $K_{mú}$ je počet mezistaničních úseků na trati. (Molková et al. 2010, str. 64-65). Na problém časové zálohy bylo v případě metodiky UIC nahlíženo jako by se doprava odehrávala na jednokolejné trati s jedním mezistaničním úsekem. Na základě této doporučené zálohy byl vypočten maximální počet tras, které lze doporučit k vložení do jízdního řádu. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 10.

	Max. kapacita	Nejvyšší doporučený počet tras	
		SŽDC	UIC
	[tras/h]		
Stavba Praha Smíchov (mimo) - Černošice (mimo)			
Práce v úseku			
<i>Výstavba odboček</i>			
<i>Praha-Smíchov - Praha-Radotín</i>	8	6	6
Praha-Smíchov - Odb. Barrandov	12	8	9
Odb. Barrandov - Praha-Radotín	12	8	9
Stavba Černošice (mimo) - Beroun (mimo)			
Práce v úseku			
<i>Výstavba odboček</i>			
<i>Praha-Radotín - Dobřichovice</i>	7	4,77	5,15
<i>Karlštejn - Beroun os.n.</i>	8	5,88	6,38
Praha-Radotín - Odb. Kosoř	11	7	8
Odb. Kosoř - Odb. Černošice-Mokropsy	12	8	9
Odb. Černošice-Mokropsy - Dobřichovice	11	7	8
Dobřichovice - Řevnice - Zadní Třebaň	11	8	9
Zadní Třebaň - Karlštejn	9	6	7
Řevnice - Karlštejn	8	5	6
Karlštejn - Odb. Lom	10	6	7
Odb. Lom - Beroun os.n.	9	6	7

Tab. 10, kapacita a nejvyšší doporučený tras rekonstruovaných úseků. Zdroj: Biskup 2014b

Z přehledu je jasné patrné, že největší problémy přináší výluky celých mezistaničních úseků během výstavby odboček. Omezení v rámci 1. stavby nejsou tak výrazná a jsou do jisté míry kompenzována možnostmi odklonů přes Prahu-Krč, která nabízí 2 (až 3) trasy za špičkovou hodinu. V tomto úseku Smíchov – Radotín, by však bylo vhodné zajistit ve špičce osobní dopravu v počtu až 4 párů tras za hodinu.

Pro všechny stavební postupy byly následně zkonstruovány návrhy výlukových jízdních řádů. Vzhledem k relativně pevně daným časovým polohám vlaků R se u všech stavebních postupů podařilo najít jedno až dvě řešení, která se jevila jako přijatelná. Kritérii při tvorbě jízdních řádů byla potřeba realizovat v daném úseku ve špičkové hodině bezpodmínečně 1 pár R tras a 1 pár Os tras. Povinností bylo dále provézt 1 pár vlaků SC během celé špičky a rychlíky směr České Budějovice, podle potřeby odklonem. Následně byly přidávány další trasy vlaků Os a N tak, aby celkový počet vlaků odpovídal výpočtu doporučených mezer podle UIC. Snahou bylo vložit alespoň 1 trasu N během špičkové

hodiny, pokud to nepřestavovalo zásadní komplikaci pro osobní dopravu, a minimalizovat pobyty vlaků osobní dopravy.

Během tvorby výlukových jízdních řádů se ukázalo, že kapacitní omezení sama o sobě nejsou takovým problémem vytvoření přípustného řešení, jako je spíše souběh prací na více úsecích. Tento problém logicky nevznikl v případě stavby Smíchov (mimo) – Černošice (mimo), zde je vyloučen vždy pouze jeden úsek. V případě některých stavebních postupů stavby druhé byl primárně nutný posun tras osobních vlaků do časových poloh, které zcela neodpovídaly požadavkům na udržení vnějších vazeb jízdního řádu. V jiných případech bylo nutné prodloužit pobyt vlaků osobní dopravy z dopravních důvodů i na 8 minut. Problémem, který se jevil jako potenciálně rizikový z pohledu stability jízdního řádu, byla potřeba křižování rychlíkových tras co nejbližší oběma jednokolejnými úseky, což by v případě zpoždění jednoho rychlíku znamenalo okamžitý přenos na rychlík další, které by se za polovinu periody v následujícím vyloučeném úseku přeneslo na třetí rychlík a zřejmě i na osobní vlaky, které se nacházely v poloze těsně za rychlíky. Jednalo se o stavební postup B. Doba jízdy mezi oběma vyloučenými úseky se přibližně rovná čtvrtině taktu. Ve stavebním postupu D nacházíme problém podobný.

Stavební postupy, kdy probíhají práce ve dvou mezistaničních úsecích, které se nacházejí ve vzájemné blízkosti (postupy J a K – jednokolejný provoz v obou úsecích sousedících s již zrekonstruovanou ŽST Řevnice), přinášejí omezení kapacity relativně výrazné, zvláště postup J. Toto omezení kapacity si sice vynutí snížení počtu tras, které lze zakreslit, nicméně s pohledu stability se nezdá tak problematické. Souvisí to s výše uvedeným faktem, že se v podstatě nejedná o dva úseky, ale jeden jednokolejný úsek s mezilehlou dopravnou Řevnice, která nabízí dobré podmínky pro křižování. Operativní překládání křižování je možné, vzhledem k pozici dopravní dobře organizovatelné a tudíž zde nevyvstává takové nebezpečí přenosu zpoždění na další taktové periody jako v případě stavebních postupů se vzdálenými jednokolejnými úseky.

Z těchto důvodů byly jako problematické identifikovány stavební postupy B a D. Dalšími důvody, které podporují rozhodnutí vypracovat výlukové jízdní řády přesnější metodou a určit jejich stabilitu, je jednak potřeba ověřit přesnějším stanovením jízdních dob, zda je možné vlaky vložit a „stihnout“ křižování původně navrženým způsobem, a zároveň fakt, že stavební postupy B a D jsou důležité i z pohledu délky jejich trvání, jedná se o 80 a 130 dní.

6. Tvorba výlukových jízdních řádů

Pro vybrané stavební postupy B a D byl vytvořen výlukový jízdní řád pomocí softwarového nástroje Fahrplanbearbeitungssystem (FBS). Tento nástroj je schopen na základě vstupních údajů, kterými jsou charakteristiky hnacích a tažených vozidel, charakteristiky trati sestavit jízdní cyklus jednotlivých vlaků a vypočítat jízdní doby (jsou zadány i absolutní nebo relativní přírážky k jízdním dobám). Trasy je pak možné vložit do nákrešného jízdního řádu, který zajistí dodržení povinných pobytů a provozních intervalů, které jsou druhou skupinou vstupních údajů.

6.1. Vstupní údaje

6.1.1. Parametry hnacích a tažených vozidel

Do jízdních řádů byly vkládány trasy pro druhy vlaků uvedené v následujícím odstavci. Lze předpokládat, že trasy vytvořené tímto způsobem by byly schopny dodržet i vlaky mírně odlišného řazení. V případě vyšší zátěže u nákladních vlaků lze situaci řešit

použitím výkonnějšího hnacího vozidla nebo většího počtu hnacích vozidel. Navíc v některých případech existuje určitý prostor pro prodloužení jízdních dob.

- a) Os – jednotka ř. 471
pozn. autora: V případě spojování dvou nebo tří jednotek jsou rozdíly v provozních charakteristikách oproti jedné jednotce minimální, proto byly zanedbány.
- b) R1 (Praha – Plzeň) – lokomotiva ř. 362 se zátěží 230 t
- c) R2 (Praha – České Budějovice) – motorový vůz ř. 854 se zátěží 45 t
- d) N – lokomotiva ř. 122 se zátěží 1300 t
- e) SC – jednotka ř. 680

6.1.2. Polohy dopraven, zastávek, návěstidel, rozhodných bodů, rychlostní profil trati, sklonové poměry

Základní údaje o trati včetně rychlostního profilu jsou uvedeny v kapitole 2. Další podrobné informace byly převzaty nebo odvozeny.

- a) Sklonové poměry trati a údaje o poloze zastávek byly převzaty z tabulek traťových poměrů (SŽDC 2016).
- b) Údaje o dopravních, poloze návěstidel a rozhodných bodech, které v době zahájení stavebního postupu nebudou zrekonstruovány, byly převzaty z plánek stanic (SŽDC 2016).
- c) Poloha kolejových spojek odb. Praha-Velká Chuchle včetně polohy nástupiště stejnojmenné zastávky byla přibližně určena podle projektové dokumentace ke stavbě Praha-Smíchov (mimo) – Černošice (mimo) (SUDOP Praha a.s. 2012b). Odbočka v km 6,2; náv. 1L a 2L od Smíchova v km 5,9; náv. 3S – 4S od Radotína v km 6,3. Oddílová návěstidla automatického bloku směrem ke Smíchovu i Radotínu dělí mezistaniční úseky na identicky dlouhé oddíly v počtu 4 směrem ke Smíchovu a 2 směrem k Radotínu. Traťová rychlost ve všech zrekonstruovaných kolejích je 120 km/h, jízda kolejovými spojkami v odbočce rychlostí 80 km/h.
- d) ŽST Praha-Radotín bude kromě části Berounského zhlaví již zrekonstruována, polohy rozhodných výhybek, návěstidel a nástupišť byly odvozeny od současného stavu zakomponováním změn, které lze vyčíst z projektové dokumentace stavby (SUDOP Praha a.s. 2012b). Pražské zhlaví prochází na rozdíl od berounského změnou uspořádání, změny poloh výhybek si vyžádaly posunutí vjezdových návěstidel o 140 m směrem k Smíchovu.
- e) Polohy provizorních odboček (viz výše) byly odhadnuty dle dostupné dokumentace (SUDOP Praha 2012a), vjezdová návěstidla byla umístěna ve vzdálenosti 100 – 150 m od osy odboček. Jízda kolejovými spojkami v odbočkách je rychlostí 40 km/h.
- f) Údaje o odb. a ŽST Černošice-Mokropsy byly převzaty z projektové dokumentace, varianta MaRek (SUDOP Praha 2011).
- g) V traťových kolejích, jejichž sousední koleje budou v rámci stavebního postupu zrekonstruovány, je rychlost snížena na 50 km/h.

6.1.3. Přirážky k jízdním dobám

Relativní přirážka k jízdním dobám byla 4% v případě Os tras a 6% v případě R a N tras. V úseku k ŽST Praha-Smíchov je absolutní přirážka 1 minuta.

6.1.4. Provozní intervaly

Program FBS není schopen rozlišovat provozní intervaly pro jízdu více druhů vlaků ve smyslu zastavování nebo projíždění dané dopravní, přestože se tyto mohou určitým způsobem lišit. Byly proto použity vždy takové hodnoty PINJ a PIK, aby bylo zajištěno dodržení odpovídajícího provozního intervalu všemi druhy vlaků. Obecně byly proto použity provozní intervaly s vyšší hodnotou, tedy pro vlaky projíždějící, jedoucí jako druhé. V případě dopravu, kde většina vlaků zastavuje, byly použity PI pro vlak zastavující, pokud některý z vlaků dopravnou projíždí, bylo dodrženo PI pro tento vlak zajištěno ručně.

Hodnoty PIK a PINJ byly stanoveny jako součet jejich statické a dynamické složky. Jsou uvedeny v tabulce 10, statická složka je označena dolním indexem S, dynamická indexem D, odpovídající provozní interval pro vlak zastavující Z a projíždějící P. Počítat provozní interval pro každou kombinaci dopravu by bylo velmi časově náročné, výpočet byl proto zjednodušen a hodnota stanovena přibližně pro všechny kategorie dopravu na trati v kombinaci s použitým zabezpečovacím zařízením (PIK pro dopravu, PINJ pro zadní dopravu). Citlivý přístup k problému by měl zaručit platnost pro všechny dopravní. Vzhledem k tomu, že program FBS není schopen pracovat s následnými mezidobími, byly pro úseky s automatickým blokem vypočítány provozní intervaly následných mezidobí pro jednotlivá oddílová návěstidla, jako by se jednalo o hradla.

	PINJ					PIK				
	PINJ _S	PINJ _{DZ}	PINJ _Z	PINJ _{DP}	PINJ _P	PIK _S	PIK _{DZ}	PIK _Z	PIK _{DP}	PIK _P
Oddílové návěstidlo AB	0,05			0,85	1					
Hradlo (HPB)	0,2			0,8	1					
ŽST s elektromechanickým ZZ	0,75	0	1	0,5	1,5	1	0	1	0,5	1,5
ŽST s reléovým či elektronickým ZZ	0,15	0	0,5	0,75	1	0,2	0	0,5	0,5	1
odbočka s elektronickým ZZ	0,1			0,75	1	0,15			0,8	1

Tab. 11, provozní intervaly. Zdroj: autor

V úseku Praha hl.n. – Praha-Smíchov obv. Vyšehrad – Praha-Smíchov obv. os.n. byly použity hodnoty PINJ 0 či 0,5 minuty, vzhledem k nízké či dokonce záporné dynamické složce těchto provozních intervalů.

6.1.5. Jízdy do odboček

Jízdní doby zohledňují jízdy do odboček, v případě vyloučených traťových kolejí sousedících s železniční stanicí bez vjezdového návěstidla u nesprávné koleje byla jízdní doba stanovena pro vlak jedoucí na přivolávací návěst rychlostí 30 km/h.

6.2. Vyhodnocení

Pro stavení postup B byl vytvořen jeden výlukový jízdní řád, neboť vytvoření jiné varianty odpovídající zadání se nepodařilo, pro postup D pak varianta D1 a D2. Nákrešné jízdní řády jsou součástí příloh č. 1, 2 a 3.

6.2.1. Stavební postup B

Ve výlukovém jízdním řádu jsou zakresleny

- pár vlaků SC v časové poloze odpovídající platnému GVD
- pár R1 v každé hodině
 - o odjezd z Prahy-Smíchova ve 20 minut (dle platného GVD), jízdní dobu prodlouží o 5 minut
 - o odjezd z Berouna v 08 minut (+4 minuty od polohy dle platného GVD)
- 2 páry R2 s osou symetrie v 16 a 18 hodin (páteční spoje s osou symetrie ve 14 hodin odklonem přes Rudnou u Prahy) přibližně v polovině taktu R1
- Pár osobních vlaků Praha – Beroun a pár Praha – Karlštejn v každé hodině
Trasa do Berouna v časové poloze odpovídající platnému JŘ od Radotína, kde dochází k předjíždění rychlíkem, v úseku Praha hl.n. – Praha-Radotín tedy dříve/později.
Trasa do Karlštejna je zakreslena přibližně v polovině taktu směrem z Prahy i do Prahy.
- 2 páry osobních vlaků Praha hl.n. – Praha-Radotín v každé hodině v intervalu 30 minut, v prokladu s osobními vlaky dále do Karlštejna a Berouna, na interval 15 minut. Přesná délka intervalu je upravena vzhledem k „vynucené“ časové poloze v úseku Radotín – Beroun.
- Tři nákladní trasy v úseku odb. Praha-Velká Chuchle – Beroun.

Přestup v Zadní Třebani od Prahy je zajištěn (přest. doba 5 minut), do Prahy přest. doba 16 minut. Přestupní vazby v Plzni hl.n. jsou zajištěny.

Doporučený počet tras pro vyloučený úsek Černošice-Mokropsy – Dobřichovice je dle metodiky UIC 8 tras/h. Tento počet není v žádné špičkové hodině překročen, za zkoumaný pětihodinový časový úsek je celkový počet tras 38, tj. v průměru 7,6 tras/h.

Doporučený počet tras pro vyloučený úsek odb. Lom - Beroun je dle metodiky UIC 7 tras/h. Tento počet není v žádné špičkové hodině překročen, za zkoumaný pětihodinový časový úsek je celkový počet tras 27, tj. v průměru 5,4 trasy/h.

Zásadním požadavkem z pohledu kapacity byla potřeba svazování rychlíku s osobním vlakem v úseku Praha-Radotín – Dobřichovice. Proto bylo zavedeno předjíždění osobních vlaků rychlíky ve čtyřkolejném úseku z Chuchle do Radotína a v souvislosti s tímto faktem a polohou druhého vyloučeného úseku nebylo možné vytvořit jinou smysluplnou variantu výlukového JŘ.

6.2.2. Stavební postup D

Stavební postup D nabízí dvě možnosti organizace dopravy.

Varianta D1

Ve výlukovém jízdním řádu D1 jsou zakresleny

- pár vlaků SC v pozdější časové poloze směrem od Plzně a v dřívější časové poloze směrem do Plzně (posun cca 10-15 minut)
- pár R1 v každé hodině
 - o odjezd z Prahy-Smíchova v 11 minut (-9 minut od polohy platného GVD), jízdní dobu prodlouží o 5 minut, příjezd do Berouna o 4 minuty dříve
 - o odjezd z Berouna v 11 minut (+7 minuty od polohy platného GVD)
- 3 páry R2 s osou symetrie ve 14 (jede v pátek), 16 a 18 hodin v polovině taktu R1 (poloha 41 minut ze Smíchova a 41 minut z Berouna)
- Pár osobních vlaků Praha – Beroun a pár Praha – Karlštejn v každé hodině v 30-ti minutovém taktu s odjezdem ze Smíchova ve 20 a 50 minut, čili v poloze současné -5 minut, kdy příjezdu do Berouna již odpovídá současnému času vlivem prodloužení jízdní doby
odjezd z Berouna je v časové poloze jině a to 20 minut, vlak z Karlštejna jede v přesném 30-ti minutovém prokladu
- 2 páry osobních vlaků Praha hl.n. – Praha-Radotín v intervalu 30 minut, tak že dochází k přesnému prokladu s osobními vlaky dále do Karlštejna a Berouna a to ve velmi vhodném intervalu 10-20-10-20 i z pohledu uživatele dopravy.
- Jeden pár nákladních tras v úseku odb. Praha-Velká Chuchle – Beroun symetricky s osou symetrie v čase 15.00, kdy nejede ani vlak R2 ani vlak SC, v časové poloze těchto vlaků.

Přestup v Zadní Třebani od Prahy je zajištěn (přest. doba 8 minut), do Prahy přest. doba 17 minut. Přestupní vazby v Plzni hl.n. jsou zajištěny. Na osobních vlacích z Berouna v Berouně není zachována přestupní vazba osobních vlaků od Plzně a rychlíků od Českých Budějovic.

Doporučený počet tras pro vyloučený úsek Praha-Radotín – odb. Kosoř je dle metodiky UIC 8 tras/h. Tento počet není v žádné špičkové hodině překročen, za zkoumaný pětihodinový časový úsek je celkový počet tras 39, tj. v průměru 7,8 tras/h.

Doporučený počet tras pro vyloučený úsek Karlštejn – odb. Lom je dle metodiky UIC 7 tras/h. Tento počet není v žádné špičkové hodině překročen, za zkoumaný pětihodinový časový úsek je celkový počet tras 29, tj. v průměru 5,8 trasy/h.

Tato varianta se zdá být vhodnou, jediným problémem je potřeba měnit časovou polohu rychlíků a vlaků SC. Vlaky SC by musely zkrátit dobu pobytu v Praze hl.n. a vznikla by lepší přestupní vazba v Plzni hl.n. U rychlíků by narostly přestupní doby a doby pobytu v Plzni hl.n. Delší doby pobytů lze přenést i do ŽST Beroun. Tyto delší pobyty zároveň zaručí likvidaci případného zpoždění před vstupem do zkoumaného úseku (směr do Prahy), nebo zpoždění získaného při průjezdu zkoumaným úsekem (od Prahy).

Varianta D2

Ve výlukovém jízdním řádu D2 jsou zakresleny

- pár vlaků SC v dřívější časové poloze směrem od Plzně a v pozdější časové poloze směrem do Plzně (posun cca 10 minut)
- pár R1 v každé hodině
 - o odjezd z Prahy-Smíchova ve 23 minut (+3 minuty od polohy platného GVD), jízdní dobu prodlouží o 6 minut, příjezd do Berouna o 9 minut později
 - o odjezd z Berouna v 01 minut (-4 minuty od polohy platného GVD)
- 3 trasy R2 ve směru od Prahy v časové poloze pozdější oproti platnému GVD (v Berouně +15 minut), kdy by bylo nutné upravit časovou polohu v navazujícím úseku, vlaky do Prahy jsou vedeny odklonem přes Rudnou u Prahy

- Pár osobních vlaků Praha – Beroun a pár Praha – Karlštejn v každé hodině, časové poloha ze Smíchova v 02/37, zpět v 09 z Berouna (21/55 z Karlštejna)
- 2 páry osobních vlaků Praha hl.n. – Praha-Radotín, které doplňují vlaky jedoucí dále v časových polohách z Prahy Smíchova na skupinu 02/17/37/52, z Prahy Radotína 02/22/37/47
- Dva páry nákladních tras v úseku odb. Praha-Velká Chuchle – Beroun.

Tento výlukový jízdní řád se na první pohled zdá méně smysluplný než varianta D1. Dochází k porušení přestupních vazeb v Zadní Třebani a Berouně, zřejmě i k porušení přestupní vazby vlaků SC v Plzni hl.n. U vlaků R2 na České Budějovice dochází ke změně časové polohy způsobem, který by si vyžádal úpravu časové polohy v navazujícím úseku. Tato varianta by mohla být zajímavá jedině z pohledu dálkové dopravy směrem na Plzeň. Příjezd rychlíků do Plzně hl.n. vychází po úpravě v 59 minut, odjezd do Prahy z Plzně v 01. V případě, že by tuto situaci bylo možné řešit úpravou časové polohy v navazujících úsecích do Mnichova (ev. Klatov), došlo by v Plzni ke zkrácení nutných pobytů a přestupních dob. Mohlo by to ovšem zároveň znamenat nárůst zpoždění vlaků z Plzně odjíždějících při zpoždění jeho přípojů: kromě zpoždění rychlíků do Prahy se jedná i o sekundární zpoždění všech ostatních spojů při zpoždění rychlíku od Prahy.

Bylo rozhodnuto, že tato varianta simulována nebude, neboť problémy, které přináší, dalece přesahují výhody jejím zavedením získané. Jedinou výhodou je kratší cestovní doba z/do Prahy při jízdě skrz uzel Plzeň.

Doporučený počet tras pro vyloučený úsek Praha-Radotín – odb. Kosoř je dle metodiky UIC 8 tras/h. Mezi 16 a 17 hodinou je zakresleno 9 tras, za zkoumaný pětihodinový časový úsek je celkový počet tras 38 tj. v průměru 7,6 tras/h.

Doporučený počet tras pro vyloučený úsek Karlštejn – odb. Lom je dle metodiky UIC 7 tras/h. Tento počet není v žádné špičkové hodině překročen, za zkoumaný pětihodinový časový úsek je celkový počet tras 28, tj. v průměru 5,6 trasy/h.

7. Simulace provozu

Provoz byl simulován pomocí softwarového nástroje OpenTrack, který je schopen na základě vstupních údajů, kterými jsou charakteristiky dopravní infrastruktury, hnacích a tažených vozidel, jízdní řád, přidělené staniční a traťové koleje jednotlivým spojům, údaje o adhezni situaci a další, vypočítat a simulovat jízdu jednotlivých vlaků, které dohromady tvoří výsledný provoz na trati. Program OpenTrack umožňuje provoz modelovat do nejmenších podrobností. Součástí údajů o infrastruktuře jsou nejen přesné polohy všech dotčených návěstidel, výhybek, nástupišť, údaje o rychlostním profilu, sklonových poměrech, obloucích, ale i informace o viditelnosti jednotlivých návěstidel, použitím zabezpečovacím zařízení, dobách přípravy vlakových cest, dobách rušení vlakových cest, způsobu rozpadu cest apod. To samé platí v případě dalších vstupních modalit, velmi podrobně je možné definovat priority jízdních cest – volbu staničních a traťových kolejí, pořadí odjezdů z dopraven na základě priorit jednotlivých skupin vlaků apod. Přesto se v průběhu přípravy objevilo několik nedostatků, které komplikovaly simulaci provozu v takové formě, v jaké bychom jeho organizování v praxi přepokládali. A nutno říci, že nejednalo o požadavky nijak specifické. Problémem bylo modelování jednokolejných úseků, kdy měl v případě konfliktu v protisměru vstupovat do úseku vlak s vyšší prioritou. Jiným problémem bylo předjíždění – relativně běžná situace, kdy se vlivem zpoždění rychlejší vlak s vyšší prioritou dostal do blízkosti vlaku

pomalejšího s nižší prioritou tak, že vlak pomalý již bránil rychlému vlaku v jízdě. Tyto problémy a jejich řešení budou rozvedeny níže.

Simulace probíhala v pětihodinovém časovém úseku odpolední špičky a to mezi 13. a 18. hodinou. Bylo využito metody Monte Carlo, konkrétně pro každý jízdni řád 11 náhodných scénářů z 200 scénářů, které jsou předdefinovány v programu OpenTrack (v rámci tvorby softwaru byly vygenerovány) a využívají zadané rozložení pravděpodobnosti vstupního zpoždění jednotlivých kategorií vlaků. Těchto 11 scénářů bylo vybráno pomocí generátoru náhodných čísel programu MS Excel.

Hlavním cílem simulace bylo stanovení rozdílu mezi vstupním a výstupním zpožděním, čili kvantifikace průměrného nárůstu nebo likvidace zpoždění jak pro jednotlivé kategorie vlaků zvlášť, tak i pro všechny vlaky dohromady. Zároveň byl kvantifikován nárůst či pokles počtu zpožděných vlaků. Pro jednotlivé generované scénáře byly dále zjištěny počty konfliktů v jednokolejných úsecích, počty nepředpokládaných předjíždění vynucených zpožděními a bude zjištěno, jakým způsobem se projevilo primární zpoždění větší než 15 minut.

7.1. Vstupní údaje

7.1.1. Parametry hnacích a tažených vozidel

Byla využita databáze českých hnacích vozidel, která obsahuje podrobné údaje o provozních charakteristikách. Byla použita stejná hnací vozidla, jako při tvorbě jízdni řádů v FBS, k dispozici ovšem bohužel nebyla lokomotiva ř. 122, pro nákladní vlaky proto byla použita lokomotiva 363, a zátěž jí byla navýšena proporčně k jejímu výkonu na 2200 t. Maximální rychlost nákladního vlaku byla stanovena na 80 km/h. Délka nákladního vlaku byla stanovena jako 400m + délka lokomotivy, tj. 417 m. Délka vlaků R1 byla stanovena na 187 m, délka vlaku R2 na 69 m.

Výkon hnacích vozidel byl nastaven tak, aby odpovídal relativním přírůzkám k jízdni dobám použitým při tvorbě jízdniho řádu v FBS. U vlaků Os na 95% v případě jízdy bez zpoždění, v případě zpoždění pak 99%. U vlaků R a N na 94% v případě jízdy bez zpoždění, v případě zpoždění 99%.

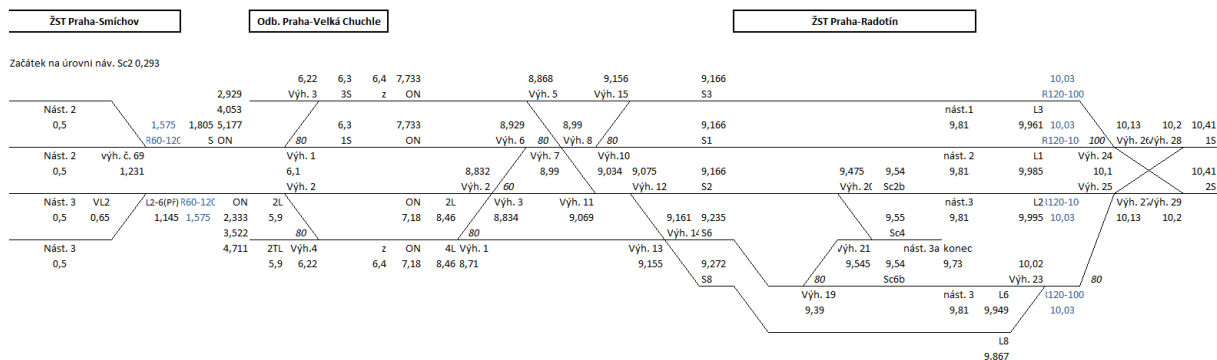
7.1.2. Charakteristiky dopravní infrastruktury

Pro vytvoření dopravní infrastruktury modelu byly použity zdroje stejné jako pro vytvoření jízdniho řádu v FBS, uvedené v kapitole 6.1.2.

Údaje o viditelnosti návěstidel nebyly dostupné, byly proto použity přibližné hodnoty se snahou vkládat hodnoty spíše nižší tak, aby nedošlo k nežádoucímu zkreslení zrychlením průjezdu vlaku kolem toho konkrétního návěstidla.

Oblouky a sklonové poměry byly v rámci simulace zanedbány, neboť vzhledem k vedení trati podél řeky Berounky v celé délce představují jen minimální odchylky.

Zvláštní pozornost bych chtěl věnovat tvorbě infrastruktury v úseku Praha-Smíchov – Praha-Radotín, který uvažujeme jako již zmodernizovaný po proběhlé stavbě Praha-Smíchov (mimo) – Černošice (mimo) s nově vybudovanou odbočkou Praha-Velká Chuchle a zastávkou Praha-Velká Chuchle v nové poloze u vnějších traťových kolejí č. 3 a 4. Traťovým zabezpečovacím zařízením v daném úseku bude automatický blok. V celém tomto úseku včetně ŽST Praha-Radotín nejsou toho času známy přesné polohy rozhodných prvků, proto byly stanoveny podle přibližných údajů podle SUDOP Praha a.s. 2012b. Použité schéma včetně staničení rozhodných prvků je uvedeno na obr. 3.



Obr. 3, dopravní infrastruktura Praha-Smíchov – Praha-Radotín, staničení. Zdroj: autor
 Pozn.: ON – oddílové návěstidlo, R – změna traťové rychlosti, rychlost při jízdě do odbočky je uvedena kurzívou, chybí-li, pak 40 km/h

Staničení námezníků výhybek bylo odvozeno od staničení výhybek pomocí tabulky 12.

Rychlost do odbočky [km/h]	Vzdálenost od začátku po námezník [m]
40	50
60	70
80	100

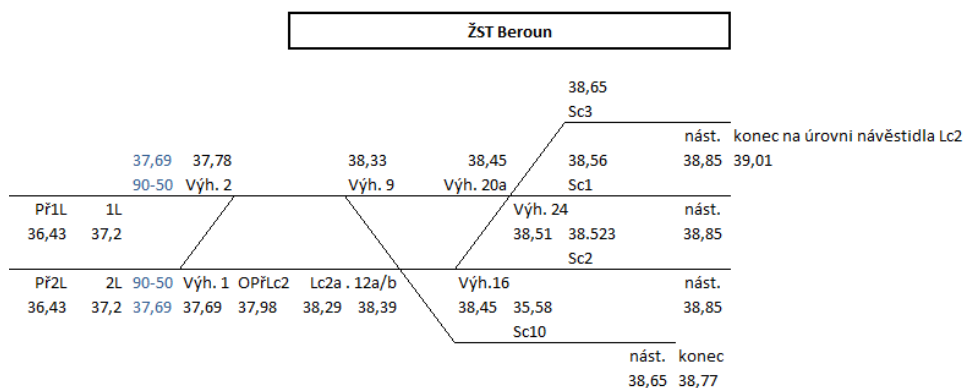
Tab. 12, délka výhybek po námezník. Zdroj: autor

Poloha oddílových návěstidel nebyla též známa, traťové úseky byly proto rozděleny na 4 resp. 2 prostorové oddíly, vzdálenost mezi hlavními návěstidly dopraven byla rozdělena tak, aby dotčené prostorové oddíly byly stejně dlouhé. Toto rozdělení ovšem přesně neodpovídá poloze oddílových návěstidel v FBS, protože jejich poloha byla při tvorbě jízdního řádu určena automatickou funkcí, které umístí návěstidla rovnoměrně podle polohy dopravní a nikoli podle polohy rozhodných hlavních návěstidel v dopravně. Tím mohly vzniknout určité konflikty mezi jízdním řádem vytvořeným v FBS a modelem, viz kapitola 7.2.1.

Předjízdna kolej č. 7 slouží jako variantní výstup vlaku ze simulace v případě obsazení hlavní staniční koleje. Vlaky R vstupují do simulace na koleji č. 2, vlaky Os vstupují na koleji č. 6, rychlost v koleji č. 6 v modelu je 60 km/h včetně jízdy do odbočky.

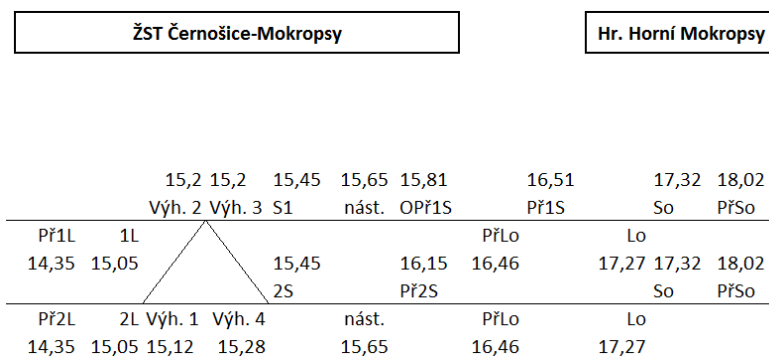
Vložená návěstidla VL2 a VL6 slouží jako odjezdová, jsou totiž na postavení odjezdových návěstidel L2-6 plně závislá, odjezdová návěstidla L2-6 jsou pak reprezentována virtuální předvěstí oddílového návěstidla 2-0023.

Stanice Dobřichovice, Řevnice a Karlštejn jsou v simulaci zjednodušeny na hlavní průjezdné staniční koleje a dvě předjízdné staniční koleje s nástupištěm. Stanice Zadní Třeňbaň je reprezentována jen dvěma průběžnými dopravními kolejemi s návěstidly a nástupištěmi, bez výhybek. Stanice Beroun je reprezentována hlavními průjezdnými staničními kolejemi a předjízdnými kolejemi 3 a 10 kusá, které slouží jako obrátové koleje pro vlaky Os. Vlaky R a N vstupují a vystupují výhradně v 1. a 2. koleji, cestová návěstidla Sc3-10 slouží jako odjezdová z totožného důvodu jako u vložených návěstidel na Smíchově, viz obr. 4.



Obr. 4, dopravní infrastruktura Beroun os.n. Zdroj: autor

Stanice Černošice-Mokropsy je reprezentována dvěma hlavními průběžnými kolejemi a kolejovými spojkami v místě budované odbočky Černošice-Mokropsy. Právě před kolejovými spojkami jsou umístěna vjezdová návěstidla, stejně jako u jiných odboček. Vjezdové návěstidlo u 1S od Dobřichovic je prozatímní, stane se odjezdovým návěstidlem S1. Budoucí vjezdové návěstidlo 1S od Dobřichovic je v modelu zapojeno jako OPř1S prozatímního vzhledem k tomu, že vlastní Př1S se nachází ještě 700 m směrem k Dobřichovicím, viz obr. 5.

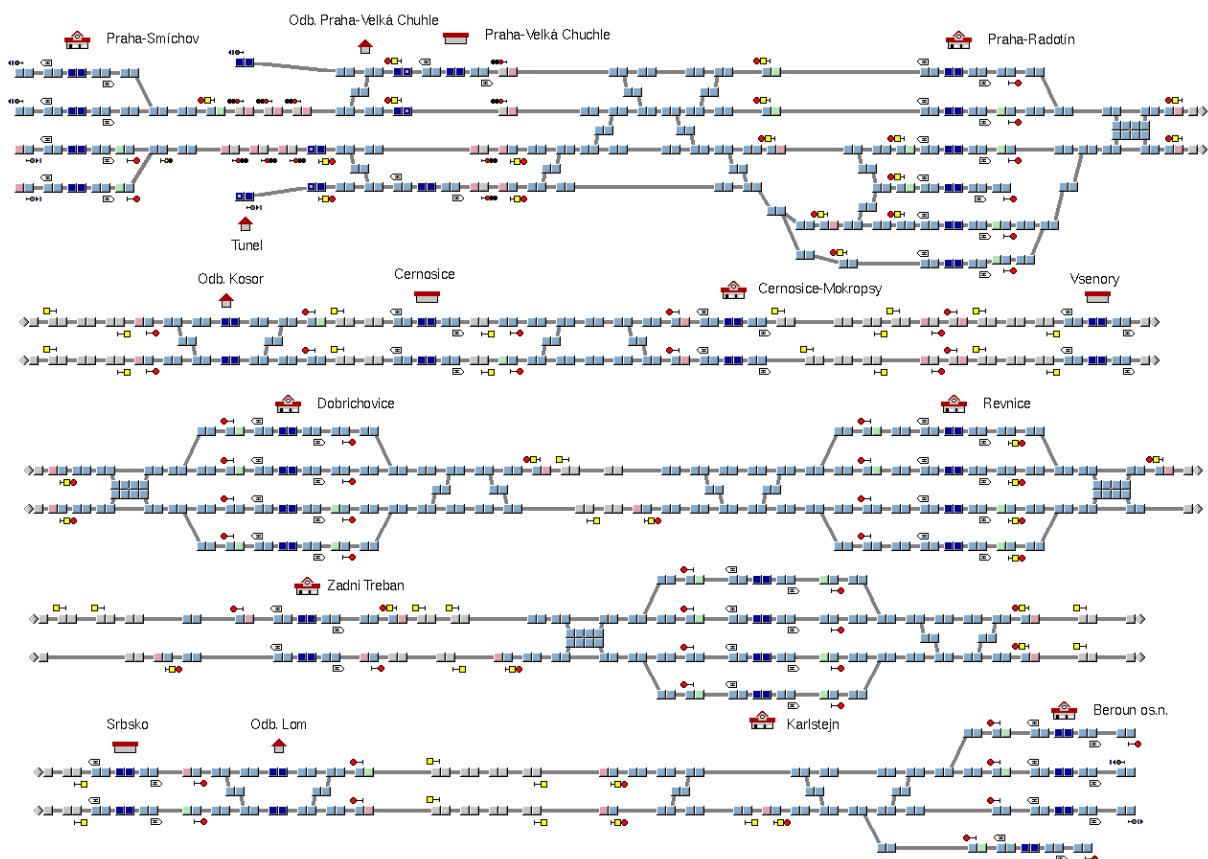


Obr. 5, dopravní infrastruktura Černošice-Mokropsy. Zdroj: autor

Staničení míst zastavení byla stanovena jako staničení stanice nebo zastávky +/- 50 m dle směru jízdy.

V případě výluky traťové koleje byla vyloučena vždy správná traťová kolej směrem od odbočky do ŽST, tak aby se vjezd do stanice uskutečňoval na přivolávací návěst, což je stav více omezující, neboť délka úseku na PN (30 km/h) je delší než při odjezdu.

Zobrazení modelu v prostředí OpenTrack vidíme na obrázku 6.



Obr. 6, zobrazení modelu. Zdroj: autor.

7.1.3. Jízdní řád a vstupní zpoždění

Byl využit výlukový jízdní řád ke stavebnímu postupu B a výlukový jízdní řád D1 ke stavebnímu postupu D. Tyto jízdní řády jsou popsány v kapitole 6.2. a jsou součástí příloh 1, 2 a 3. Všechny zadané hodnoty odpovídaly vytvořeným jízdním řádům, došlo pouze k úpravě časové polohy nákladních vlaků v odbočce Tunnel a Praha-Velká Chuchle směrem na Beroun. Program FBS generoval jízdní doby mezi Tunelem a Radotínem pro vlak, který se rozjíždí, do OpenTracku byla u nákladních vlaků zadána vstupní rychlost 50 km/h.

Povinné doby pobytu byly stanoveny na 30 s ve všech zastávkách a železničních stanicích, kromě ŽST Praha-Smíchov a Beroun, kde byly pro všechny kategorie vlaků stanoveny doby pobytu 45 s.

Povinné doby pobytu v obratových stanicích byly stanoveny na 360 s, v případě ostrého obratu v Karlštejně u jízdního řádu B a v Radotíně u jízdního řádu D1 byly sníženy na 240 s.

Údaje o rozložení pravděpodobnosti vstupního zpoždění poskytla SŽDC. Toto rozložení pravděpodobnosti je vždy exponenciální a jeho parametry jsou uvedeny v tabulce 13.

	Zpoždění na síti		Zpoždění na odjezdu z výchozí stanice	
	stř. hodnota [min]	pravděp. zpoždění [1]	stř. hodnota [min]	pravděp. zpoždění [1]
dálková osobní doprava	7	0,5	6	0,35
vlaky Os	4	0,25	4,5	0,33
nákladní doprava	10	0,5		

Tab. 13, údaje o vstupním zpoždění. Zdroj: SŽDC

Pro osobní vlaky byly použity hodnoty zpoždění na odjezdu z výchozí stanice. Osobní vlaky vstupují s předdefinovaným zpožděním pouze v Praze-Smíchově. Zpoždění při jízdě zpět je dáno výhradně zpožděním, se kterým přijely do obratové stanice z Prahy navýšené o povinný pobyt.

Pro vlaky dálkové dopravy byly použity hodnoty zpoždění na síti.

V případě, že má vstupující osobní vlak zpoždění větší, než je interval mezi časem jeho odjezdu z výchozí dopravní a časem odjezdu následujícího vlaku, nemůže následující vlak vstoupit do simulace dříve, než vstoupí vlak první, primárně zpožděný. Jinými slovy není možné měnit pořadí vlaků na konkrétním vstupu. Tento stav do jisté míry odráží skutečnost, že příčiny zpoždění vlaků téže linky bývají stejné a že k předjetí v takovém případě (zpoždění 10-20 minut) většinou nedochází.

7.1.4. Způsob organizace dopravy

Způsob organizace dopravy je závislý na dostupné dopravní infrastruktuře. V této kapitole popíšeme principy, které definovaly provoz během simulace a některé parametry, které byly z hlediska dostatečně autentického provedení simulace zásadní.

7.1.4.1. Provozní intervaly

Velice důležitým bodem bylo přesné definování provozních intervalů v celém modelu. Program OpenTrack rozlišuje 3 základní úrovně volených jízdních cest a to jsou

- 1) Routes
- 2) Paths
- 3) Itineraries

Routes představují základní úroveň jízdní cesty, jsou v podstatě jízdní cestou v užším slova smyslu, neboli jízdní cestou ve smyslu chápání zabezpečovacího zařízení. Jedná se o jízdu od návěstidla k návěstidlu. Každá route má definovanou dobu potřebnou na její přípravu a zabezpečení a dobu potřebnou na její zrušení. Do času potřebného na přípravu a zabezpečení se nepočítá čas nutný pro přestavení výměn.

Paths se skládají z routes a představují nedělitelný úsek trati, který vlak v rámci modelu projede. Paths byly voleny jako skupiny routes začínající téměř vždy u odjezdového návěstidla železniční stanice a končící u odjezdového návěstidla další železniční stanice.

Itineraries představují celou trasu, nebo její alternativní část, kterou vlak v průběhu simulace projede. Každý itinerary se skládá z několika paths. Pro každý vlak je určeno 1 až n itineraries, kdy každý z nich má stanovenou jedinečnou prioritu. Vlak může v průběhu jízdy přecházet z určitého itinerary na jiný, v místě navazujících paths. V daném místě si vybírá vždy ten možný itinerary, který má nejvyšší prioritu.

Důležitým atributem routes je kromě problematiky provozních intervalů, respektive jejich analogického zobrazení do doby potřebné na přípravu a zabezpečení a doby potřebné na zrušení a uvolnění, i návěstní znak zobrazený na příslušném hlavním návěstidle, dále případný úsek, ve kterém musí vlak dodržovat sníženou rychlost danou návěstidlem a v neposlední řadě skupiny hran, které se při rozpadu vlakové cesty uvolňují společně. V případě elektronického zařízení se jedná typicky o jeden kolejový obvod, kolejovou spojku apod., v případě elektromechanického zařízení se však ruší vlaková cesta celá v jednom kroku. Způsoby rozpadu vlakových cest bylo nutné u každé route definovat tak aby odpovídala skutečnosti.

Za rušení a uvolnění vlakové cesty můžeme zároveň považovat i odhlášku, neboť ta představuje uvolnění tratového úseku příslušné route. Doby potřebné na udělení odhlášky bylo proto též nutné započítat do dob potřebných na rušení a uvolnění cesty.

Tabulka 14 udává hodnoty použité v modelu, následuje komentář.

Druh cesty		Doba na přípravu a zabezpečení (reserve time) [s]	Doba na rušení a uvolnění (release time) [s]
Automatický blok		0	3
Reléové staniční ZZ		0	8
Elektronické staniční ZZ		0	3
Přirážky			
Ev. změna trať souhlasu na elektronickém ZZ		+3	
Ev. změna traťového souhlasu na reléovém ZZ		+5	
Elektromechanické ZZ - ústřední přístroj	Vjezd (i PN) Odjezd	39 39	21 6+dynamická složka
Elektromechanické ZZ - ústřední stavědlo	Vjezd Odjezd	6 12	0 6+dynamická složka
Hradlo (jako zadní dopravna)		6	6
Přestavení výměn			
- reléové a elektronické ZZ			2
- elektromechanické ZZ			4

Tab. 14, použité dobu na přípravu a zabezpečení a doby na rušení a uvolnění cesty. Zdroj: autor

Doba na zabezpečení a přípravu v podstatě vychází ze statických technologických časů konkrétních typů zabezpečovacích zařízení.

V případě ústředního přístroje se tato doba skládá z těchto technologických procesů

- DK – přestavení posuvného knoflíku, přeložení směrového závěrníku 0,05 min
 - DK – uvolnění návěstního hradla, obsluha hradlového zvonku 0,15 min
 - Stavědlo – obsluha hradlového zvonku, přeložení kolejového závěrníku, uzavření závěru výměn, postavení hlavního návěstidla (bez přestavení výměn) 0,45 min
- Σ 0,65 min
= 39 s

V případě ústředního stavědla pak	
přeložení kolejového závěrníku, postavení hlavního návěstidla	0,1 min
+ v případě odjezdové cesty navíc uzavření počátečního traťového hradla	<u>0,1 min</u>
	Σ 0,2 min

V případě hradla postavení hlavního návěstidla (+ reakce) 0,1 min

Pozn.: Zjištění volnosti dopravní koleje pohledem není zahrnuto, předpokládá se provedení před samotným stavěním cesty – není v kolizi s jinými procesy.

U doby na rušení a uvolnění je situace složitější neboť ta může být ovlivněna více faktory. Program OpenTrack neumožňuje nastavení různých dob pro různé části route. Rušení odjezdové route se totiž dělí na rušení odjezdové cesty v dopravně a udělení odhlášky přední dopravnou. Doba trvání obou procesů se liší.

Doba rušení odjezdové cesty je stejná jako v případě vjezdové cesty. V případě ústředního přístroje se jedná o tyto technologické procesy:

- Stavědlo – přeložení kličky návěstidla, uzavření návěstního hradla 0,15 min
 - DK – uvolnění závěru výměn, přestavení posuvného knoflíku, přeložení směrového závěrníku 0,2 min
- Σ 0,35 min
= 21 s

V případě vjezdové cesty je route rušena skutečně po 21 sekundách.

V případě odjezdové cesty však hraje roli i udělení odhlášky přední dopravnou.

Doba, za kterou je udělena odhláška přední dopravnou, je určena součtem statické a dynamické složky.

Statickou složku představuje logicky uzavření koncového nebo mezilehlého hradlového závěru (6 s). K uzavření hradlového závěru však může dojít až v momentě, kdy bylo zjištěno, že vlak vjel celý. Proto v případě, že zjištění konce vlaku provádí signalista na stavědle, můžeme dobu, která uplyne od minutí vjezdového návěstidla koncem soupravy po minutí odjezdového návěstidla na stejném zhlaví koncem soupravy, považovat za dynamickou složku doby potřebné na udělení odhlášky. V případě, že zjištění konce vlaku provádí výpravčí vně dopravní kanceláře, můžeme dobu, která uplyne od minutí vjezdového návěstidla koncem soupravy přes příchod výpravčího do dopravní kanceláře až po příchod k ústřednímu přístroji (po ověření, že vlak je celý) považovat za dynamickou složku doby potřebné pro udělení odhlášky. V případě, že se jedná o průjezd na hradle nebo odbočce, je dynamická složka nulová.

Z pohledu rušení odjezdové route je pak zásadní, která z těchto dvou hodnot je důležitější, protože obě není možné použít. Samotných 21 sekund potřebných pro uvolnění zhlaví není podstatných. Velmi pravděpodobně bude následně stavěna další odjezdová cesta stejným směrem a ne vjezdová cesta z opačného směru (v některých případech to dokonce není možné). Důležitá je proto doba potřebná na udělení odhlášky za prvním vlakem tedy 6 s statická složka + složka dynamická. Tato doba je navíc ve většině případů (kromě cesty k hradlu nebo odbočce) vyšší než 21 s, je tudíž splněna i podmínka pro rušení cesty na zhlaví. Hodnoty použité v simulaci jsou uvedeny v tabulce 15.

[s] z	TK	
	2.	1.
Hr. Horní Mokropsy	↓ 6 + 18	↓ 6 + 42
Dobřichovice	↓ 6 + 24	↑ 6
Řevnice	↓ 6 + 106	↑ 6 + 30
Zadní Třebaň	↓ 6 + 20	↑ 6 + 17
Karlštejn	↓ 6	↑ 6 + 101
Odb. Lom	↑ 6 + 53	↑ 6 + 18

Tab. 15, doba na rušení a uvolnění cesty (route). Zdroj: autor

V ŽST Zadní Třebaň zjišťuje konec vlaku výpravčí v kolejišti. V případě této stanice byla dynamická složka určena jako doba jízdy konce vlaku Os od vjezdového návěstidla do zastavení u nástupiště + povinný pobyt 30 s + 60 s.

7.1.4.2. Volba jízdnic cest

Tato kapitola popisuje způsob volby jízdnic cest jednotlivých spojů. Vlaky byly rozděleny do kategorií, kterým byla udělena priorita, následovně:

- Vlak R – priorita 1
- Vlak Os – priorita 2
- Vlak N – priorita 3

Smyslem této priority je stanovit pořadí odjezdů jednotlivých vlaků z železniční stanice. Toho bylo možné využít i během některých nepředpokládaného předjíždění.

Stanovení těchto priorit nebylo zcela funkční v protisměrných úsecích, proto bylo nutné řešit situaci v těchto úsecích zvlášť, viz kapitola 7.1.4.4.

Každému vlaku byly stanoveny itineraries s prioritami, které stanovily celou jeho jízdnicí trasu v modelu.

7.1.4.2.1. Stavební postup B

Vlaky Os vstupují do simulace na koleji 6 v ŽST Praha-Smíchov, v cílové stanici se obrátí a vystupují na koleji 1(ev. 3) v Praze-Smíchově. Všechny vlaky Os jedou v úseku odb. Praha-Velká Chuchle – Praha-Radotín po vnějších traťových kolejích č. 3 a 4.

Pro vlaky Os Praha – Beroun jsou určeny tyto dopravní koleje (nižší priorita v závorce):

- směr lichý: Praha-Radotín 6(2), Dobřichovice 2(6), Řevnice 2(6), Karlštejn 4(2), Beroun 10 kusá(3)
- směr sudý: Karlštejn 1, Řevnice 1(3), Dobřichovice 3(1), Praha-Radotín 3(1)

Pro vlaky Os Praha – Karlštejn jsou určeny stejné dopravní koleje, v Karlštejně kolej 5(4) pro obrat.

Pro vlaky Os Praha hl.n. – Praha-Radotín je v Radotíně určena dopravní kolej 4 kusá, zpět na 3. TK cesta přes kolej 2., variantně přes kolej 6.

Vlaky jedou povinně po předjízdých kolejích kvůli vysoké pravděpodobnosti předjíždění v dotčených dopravních vlakem R. Jízda nižší rychlostí nebyla překážkou dodržení jízdního řádu, byla kompenzována zkrácením povinného pobytu na 12 s, z následující zastávky odjížděl vlak včas, viz kap. 7.1.4.3.

Vlaky R vstupují do simulace a vystupují z ní v Praze-Smíchově a Berouně v hlavních průběžných dopravních kolejích č. 1 a 2, v Praze Smíchově mohou vystoupit variantně na 3. koleji.

Jsou pro ně určeny tyto dopravní koleje:

- směr lichý: Praha-Radotín 2(6), Dobřichovice 2(6), Řevnice 2(6), Karlštejn 2(5)
- směr sudý: Karlštejn 1, Řevnice 1(3), Dobřichovice 1(6), Praha-Radotín 1(3)

Vlaky N vstupují do simulace a vystupují z ní na kolejích odb. Tunel ve správném směru a v hlavních průběžných dopravních kolejích č. 1 a 2 v Berouně.

Jsou pro ně určeny tyto dopravní koleje:

- směr lichý: Praha-Radotín 6(8), Dobřichovice 2(6), Řevnice 2, Karlštejn 2(5)
- směr sudý: Karlštejn 1, Řevnice 1(3), Dobřichovice 1(6), Praha-Radotín 3(1)

7.1.4.2.2. Stavební postup D

Určení vstupů, výstupů a traťových kolejí je stejné až na vyloučené úseky.

Rozdíl mezi postupy B a D jsou zvýrazněny.

Pro vlaky Os Praha – Beroun jsou určeny stejné dopravní koleje.

Pro vlaky Os Praha – Karlštejn jsou určeny stejné dopravní koleje, v Karlštejně **povinně kolej 5** z důvodu delšího pobytu v Karlštejně, aby souprava nebránila zastavení vlaku Os na Beroun na 4. koleji a předjíždění po 2. koleji a z důvodu časové kolize s rychlíkem při cestě křížem, která je výhodnější při vjezdu osobního vlaku – prevence zpoždění na odjezdu.

Pro vlaky Os Praha hl.n. – Praha-Radotín je v Radotíně určena pro obrat **povinně dopravní kolej 3**, mj. z důvodu rychlejší jízdy kolejovými spojkami (60 km/h) během ostrého obratu a časové kolize s rychlíkem při cestě křížem, která je výhodnější při vjezdu osobního vlaku – prevence zpoždění na odjezdu – ten traťovou rychlostí.

Pro vlaky R jsou určeny tyto dopravní koleje:

- směr lichý: Praha-Radotín 2(6,**I** – z důvodu větší pravděpodobnosti hromadění souprav ve stanici při vyloučené traťové koleji ke Kosoří), Dobřichovice 2(6), Řevnice 2(6), Karlštejn 2(5)
- směr sudý: Karlštejn 1, Řevnice 1(3), Dobřichovice 1(6), Praha-Radotín 1(3,**2** – z důvodu možného obsazení koleje 3 obracející se soupravou a koleje 1 pomalejším vlakem stejného směru, nebo rychlíkem směru opačného)

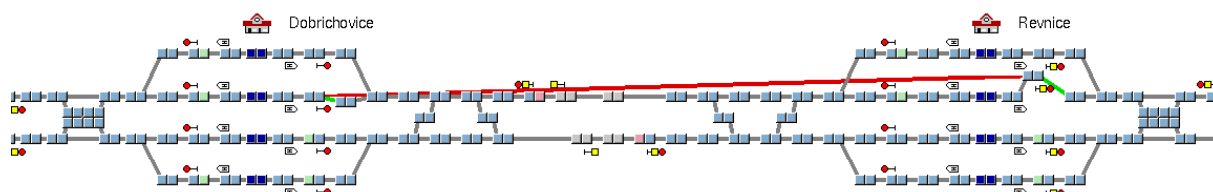
Pro vlaky N jsou určeny stejné dopravní koleje.

7.1.4.3. Předjíždění

Předjíždění vlaků Os vlaky R, popřípadě i vlaků N je velmi komplexní problematikou. Je třeba je organizovat velice precizně s ohledem na danou dopravní situaci a v našem případě zvláště s ohledem na potřeby obsazení vyloučených úseků.

Určení priorit jednotlivých kategorií vlaků umožnilo společně s nastavenými pravidly předjíždění takovou organizaci dopravy, která se během pilotního testování modelu ukázala jako vhodná z hlediska uspořádání vyloučených traťových kolejí. V rámci stavebního postupu B, je doprava organizována s pravidelným předjížděním vlaky Os vlaky R v Radotíně vzhledem k potřebě svazkovat vlaky tak, aby projížděly úsekem Černošice-Mokropsy – Dobřichovice v párech stejného směru a efektivněji využily mezistaniční úsek rozdělený hradlem na dva prostorové oddíly. Vzájemná blízkost časových poloh vedla k relativně častým konfliktům vlaků stejného směru v tomto úseku a vedla ke snaze nastavení předjíždění co nejefektivněji.

Původním záměrem bylo takové nastavení systému, kdy pomalý první vlak Os standardně jedoucí po průběžné hlavní traťové koleji v případě konfliktu uhne na kolej předjízdnu. Protože nastavení itineraries umožňuje změnu traťové koleje pouze na základě obsazení následujícího úseku vlakem nebo zabezpečenou / „zarezerovanou“ trasou a namodelovat změnu koleje na základě *budoucí* kolize cest, která ještě není postavena v případě, že jeden z vlaků nemá v dané stanici zastávku, není jednoduše schopen, byla snaha vytvořit v modelu takové vazby, které v uvedené situaci umožní, aby model reagoval podle našich záměrů. Jako uspokojivé řešení se ukázalo propojení dvou vrcholů hlavních staničních kolejí virtuální hranou, která zajistila, že v případě obsazení průběžné dopravní koleje v zadní dopravně vjezdovou vlakovou cestou pro rychlejší vlak druhý se zároveň obsadí průběžná dopravní kolej v přední dopravně, viz obr. 7.



Obr. 7, modelování předjíždění. Zdroj: autor

Vlak první se v ten moment nacházel v mezistaničním úseku mezi dotčenými dopravnami, a když mu měla být stavěna vjezdová cesta na hlavní dopravní kolej v přední dopravně, byla tato obsazena pomocí virtuální vazby. Vlak proto zvolil 1. náhradní cestu na předjízdnu kolej a umožnil plynulé předjetí. Toto nastavení výborně fungovalo v mezi stanicemi Řevnice a Dobřichovice v sudém směru. Bylo-li ovšem aplikováno na jiné úseky, nebyla už časová závislost obsazování kolejí tak vhodná a k postavení cesty na předjízdnu kolej v přední dopravně vždy nedošlo. Navíc docházelo k situacím, kdy pomalý vlak v přední dopravně obsadil průběžnou kolej ještě dříve než vlak rychlý v zadní dopravně, což vedlo k tomu, že naopak rychlý vlak byl v zadní dopravně nesmyslně přesměrován na předjízdnu kolej, jeho průjezd se zpomalil a přední dopravně opět předjížděl po variantní předjízdne koleji. Tyto problémy umožnily modelovat předjíždění efektivně jen v jednom úseku.

Bylo proto zváženo nucené zastavování osobního vlaku na předjízdne koleji v dopravnách, kde se předpokládala vyšší pravděpodobnost předjíždění. Povinný pobyt 30 s byl zkrácen na 12 s tak, aby byla kompenzována pravidelná jízda rychlostí jízda rychlostí 40 km/h. Toto nastavení bylo provedeno v Karlštejně v lichém směru a v Dobřichovicích v sudém směru, tedy před jednokolejnými úseky a ukázalo se velice funkčním, k nežádoucímu zpoždění vlaků Os nedocházelo, tyto byly již v další zastávce schopny odjít včas a v případě zpoždění toto zpoždění krátit. Nastavení bylo proto ponecháno.

Pro každý z jízdnic řádů byla nastavena pravidla pro čekání vlaku pomalejšího v případě, že se blíží vlak rychlejší. V průběhu pilotního testování modelu se ukázalo, že ve směru lichém (Praha – Beroun) může být předjíždění účelné v podstatě ve všech dopravnách. V Radotíně naprosto přirozeně, kdy vlak Os jede po jiné traťové a dopravní koleji.

V Dobřichovicích a Řevnicích v některých případech vlak osobní uvolnil cestu vlaku R, který však předjížděl po předjízděné koleji a určitým způsobem se zpomalil. Nedocházelo k tomu však příliš často v důsledku optimálního nastavení předjíždění v Radotíně. V Řevnicích probíhalo předjíždění obdobně, nastavení povinné předjízděné koleje ve všech dopravních by přinášelo do modelů zmatek a zvyšovalo by riziko nesourodosti modelu a skutečnosti. Předjízděná kolej jako povinná byla nastavena pouze v Karlštejně.

Ve směru sudém (Beroun – Praha) se ukázalo, že vzhledem k dlouhým prostorovým oddílům a pomalé jízdě mezi Berounem a Karlštejnem se smazávají rozdíly mezi jednotlivými kategoriemi vlaků. Rychlík nedojížděl osobní vlak zdaleka tak výrazně, jako v úseku Radotín – Řevnice s mnoha zastávkami. Jako účelné se proto ukázalo nastavení takové, že vlak osobní počká ve výchozí stanici Beroun/Karlštejn po určitou dobu v případě zpoždění rychlíku, a v případě, že rychlík bude zpožděn více, nebude už předjíždění v podstatě nutné jinde než v Dobřichovicích a nebo dále pohodlně na 3. dopravní/traťové koleji Radotín – odb. Praha-Velká Chuchle. V Karlštejně byla proto stanovena jako jediná možná volba 1. dopravní kolej, v Řevnicích byla umožněna jízda po předjízděné koleji, nebyla však téměř využita vzhledem k dlouhé době udělování odhlášky z Třebaně a zkracujícím se mezistaničním úsekům. Výhodnost takového řešení souvisela úzce i s uspořádáním časových poloh tras vlaků Os a R. Tyto trasy se sblíží buď blízko Berouna anebo blízko Radotína a Dobřichovic. Díky omezení předjíždění téměř výhradně na Dobřichovice projížděl v případě předjíždění osobní vlak společně s rychlíkem nejkratší prostorové oddíly mezi Dobřichovicemi a Řevnicemi na krátké následné mezidobí a doba čekání předjížděného vlaku se tím minimalizovala. Předjíždění na odb. Praha-Velká Chuchle probíhalo spontánně na základě nastavených priorit tak, aby rychlík nebyl zbrzděn. Vzhledem k tomu, že model vyžadoval pevné nastavení pravidel, nebylo možné výhodnost takového řešení statisticky testovat proti jiné variantě. Pokud bychom se chtěli dobrat statisticky průkazného opakování, bylo by to vzhledem k velkým odchylkám jednotlivých pokusů extrémně časově náročné a to jak na provedení dostatečného počtu scénářů, tak na jejich vyhodnocení, které je velmi pracné.

Nastavení předjíždění v simulacích zobrazuje tabulka 16, lze říci, že toto nastavení je možné doporučit, protože se v proběhlých simulacích osvědčilo, vykazovalo smysluplný výstup, ovšem s vědomím, že nebylo samo o sobě testováno, viz výše.

Směr lichý		Postup B				Postup D1			
Vlak		OsPBP	R1	OsPKP	R2/SC	OsPBP	R1	OsPKP	R2/SC
Praha-Radotín	odj./průj.	30,9	27,2	2,4	57,3	29,8	17,8	59,8	cca 48,5
	vyčká nejdéle do	35,2	=zp+8	7,3	=zp+10	35,8	=zp+16	4,3	=zp+15,8
Řevnice	odj./průj.	49,3	39,6	20,8	9,5	48,3	29,3	18,8	0
	vyčká nejdéle do	52,6	=zp+13	24,5	=zp+15	52,3	=zp+23	22	=zp+22
Karlštejn	odj./průj.	56,5	44,6	/		55,5	34	/	
	vyčká nejdéle do	0,6	=zp+16			59,5	=zp+25,5		
Směr sudý									
Vlak		OsPBP	R2/SC	OsPKP	R1	OsPBP	R1	OsPKP	R2/SC
Beroun	odj./průj.	54	37,3	/		20	11,3	/	
	vyčká nejdéle do	59,3	=zp+22			26,3	=zp+15		
Karlštejn	odj./průj.	/		33	17,3	/		3,3	52,4
	vyčká nejdéle do			37,3	=zp+20			8,4	=zp+16
Dobřichovice	odj./průj.	17	51,2	44,8	24,6	45	30	15	0
	vyčká nejdéle do	21,2	=zp+30	48,6	=zp+24	49	=zp+19	19	=zp+19

Tab. 16, nastavení předjíždění v simulaci. Zdroj: autor

V některých případech, kdy bylo nesporně výhodné, aby vlak pomalejší počkal delší dobu, byla simulace provedena s nastavením delšího čekání dotčeného vlaku. Jednalo se zejména o pobyty zpožděných nákladních vlaků, které bylo nutné provézt tak, aby nebyly zpoždovány vlaky osobní dopravy.

7.1.4.4. Jízda v jednokolejných úsecích

Jak jsem již nastínil, nastavení priorit jednotlivých kategorií vlaků nevedlo k čekání vlaku nižší priority na vlak protijedoucí priority vyšší v případě, že vlak vyšší priority vstupoval do jednokolejného úseku později. To mělo patrně co dočinění s tím, že prioritou souvisí s nastavením návěstidel, které v rámci jedné dopravního rozhodují o dřívějším stavění cesty pro vlak vyšší priority. Nachází-li se však rozhodná návěstidla ve dvou dopravních, jejich rozhodování o prioritách cest už nefunguje. Nelze obecně říci, že vlak vyšší priority by měly v reálném stavu v jednokolejném úseku absolutní přednost. To by vedlo k výraznému zpoždování vlaků Os, které by zbytečně čekaly na začátku jednokolejného úseku v momentě, kdy by vlak R třeba do daného úseku ještě ani nevjel. Proto byla za přijatelnou hodnotu čekání vlaku R před jednokolejným úsekem zvolena hodnota 3 – 4 minuty v závislosti na délce úseku. Ve většině případů proto nebylo třeba ani bez fungujícího nastavení priorit do simulace nijak zasahovat, ovšem v případě, že vlak s vyšší prioritou čekal neúnosně dlouho, byl vlak s nižší prioritou zdržen tak, aby vstupoval do úseku jako druhý. Toto zdržení bylo provedeno buď nastavením přípoje vlaku vyšší priority, na který musel vlak nižší priority čekat, nebo arteficiálním prodloužením pobytu vlaku nižší priority v zastávce před jednokolejným úsekem.

7.1.5. Další údaje

V rámci modelu byly nastaveny ještě některé další parametry, jako adhezní situace, 100 % apod. Jízdní odpor byl modelován pomocí Strahl-Sauthoffovy rovnice

$$w = c_1 \cdot G + c_3 \cdot A \cdot v^2,$$

kde w je jízdní odpor [N/kN], c_1 je součinitel valivého odporu [kN^{-1}], G je tíha soupravy [N], c_3 je součinitel aerodynamického odporu [$\text{s}^2\text{m}^{-4}/1000$], A je plocha průřezu čela vlaku do roviny kolmé na směr jízdy [m^2] a v je rychlost [ms^{-1}].

Podle Sauthoff-Formel 2016

7.2. Vyhodnocení

7.2.1. Věrohodnost modelu

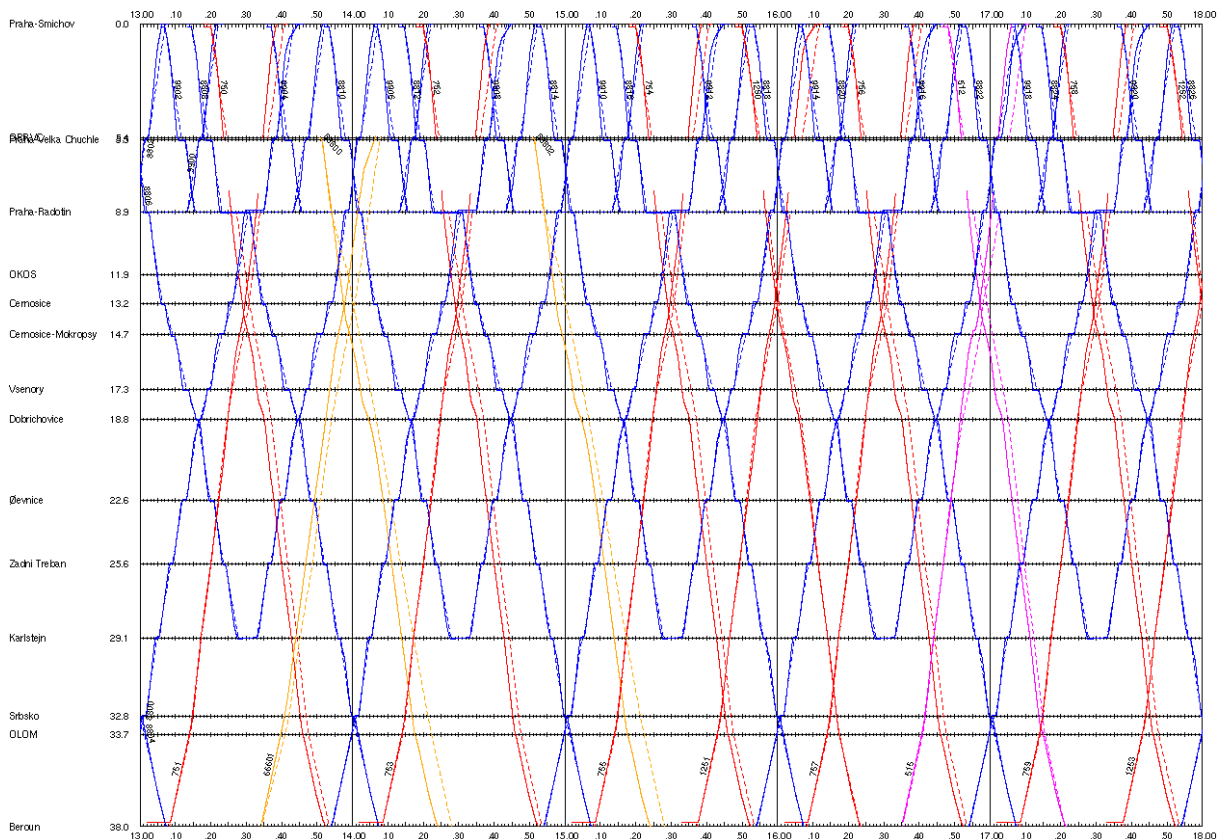
V rámci prvotního testování modelu bylo ověřováno, zda model vykazuje vlastnosti, které v jeho základních parametrech odpovídají skutečnému provozu. Zároveň bylo zjišťováno, zda vlaky vstupující do modelu jsou schopny dodržovat jízdní doby jízdních řádů vytvořených v FBS, tedy zda nevznikají primární zpoždění vlivem nepřesností, zda nevznikají jízdou vlaků nezpožděných konflikty v jednokolejných úsecích a zda jsou vlaky schopné primární zpoždění odpovídajícím způsobem eliminovat.

Pro oba stavební postupy byla proto spuštěna simulace bez vstupního zpoždění a následně dvě simulace s určitým vstupním zpožděním pro kontrolu eliminace zpoždění.

Grafické výstupy ze simulací bez zpoždění vidíme na obrázcích 8 a 9. Užitá konvence pro značení kategorií vlaků v této práci je:

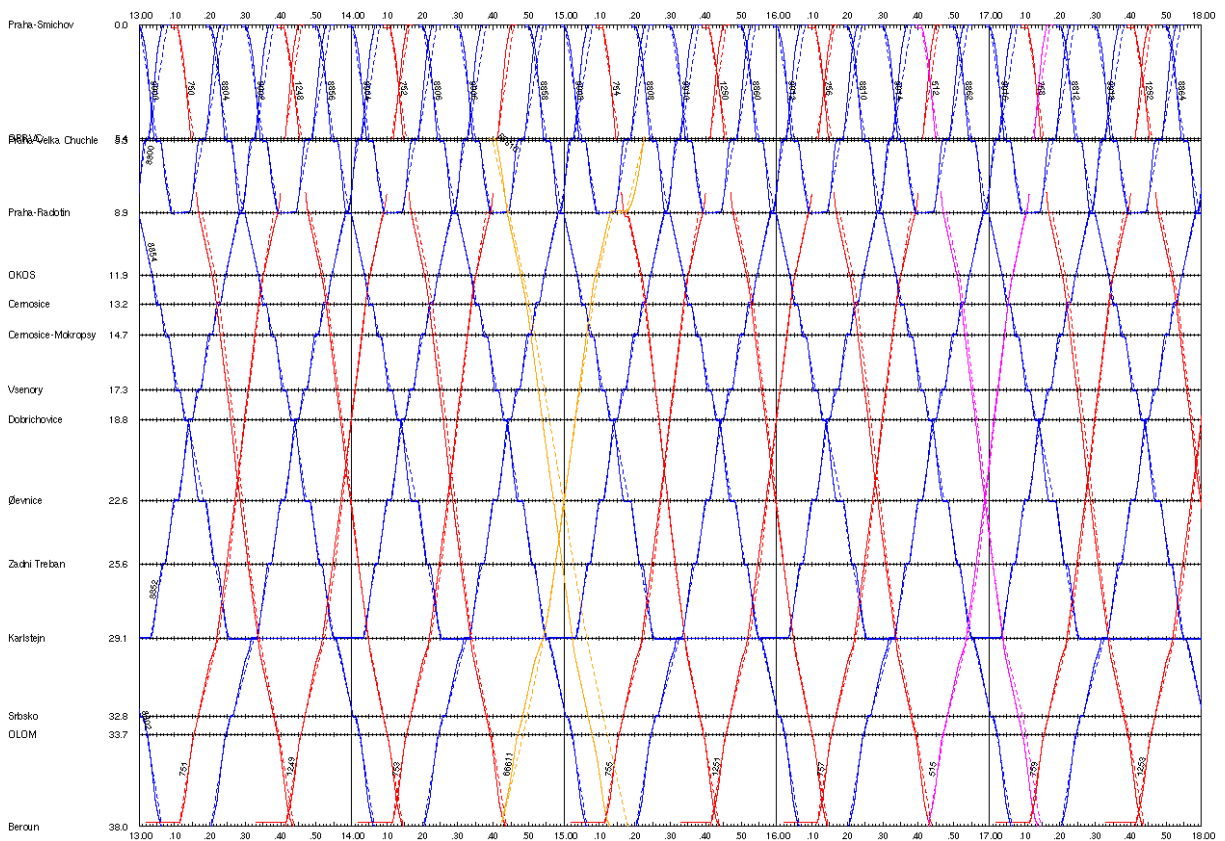
červená – vlak R, modrá – vlak Os, oranžová – vlak N, světle zelená – alternativní scénář.

Praha-Smíchov - Beroun



Obr. 8, jízdní řád B, bez zpoždění. Zdroj: autor

Praha-Smíchov - Beroun



Obr. 9, jízdní řád D1, bez zpoždění. Zdroj: autor

Před získáním tohoto výsledku byly provedeny některé dílčí úpravy zmíněné výše, jedná se o změnu odjezdů nákladních vlaků z odboček Tunel a Praha-Velká Chuchle, neboť tyto vlaky vstupují do simulace s rychlostí 50 km/h.

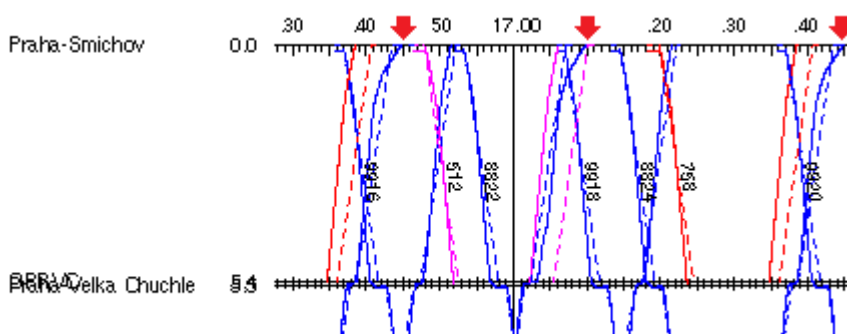
Ve všech zkoumaných hlediscích stav odpovídal očekávání, jízdní řád byl dodržen, nevznikaly nežádoucí konflikty, vlaky byly schopny krátit zpoždění, které odpovídalo přírůstkům k jízdním dobám. Jediným problémem, který se ukázal být důležitým z pohledu výsledků simulace, byla zjištěná diskrepance mezi jízdním řádem v FBS a modelem v úseku odb. Praha-Velká Chuchle – Praha-Smíchov, který byl nastíněn v kapitole 7.1.2. o modelování dopravní infrastruktury.

Z dostupných zdrojů nebylo totiž možné zjistit přesnou polohu oddílových návěstidel v tomto úseku. Traťový úsek byl proto v modelu rozdělen na 4 prostorové oddíly, vzdálenost mezi hlavními návěstidly dopraven byla rozdělena tak, aby dotčené prostorové oddíly byly stejně dlouhé. Toto rozdělení ovšem přesně neodpovídá poloze oddílových návěstidel v FBS, protože v FBS byla rozdělena oddílová návěstidla automatickou funkcí rovnoměrně podle polohy dopravní a nikoli podle polohy rozhodných hlavních návěstidel v dopravně. Na první pohled se jedná o zanedbatelný problém, ale především na Smíchově je rozdíl polohy vjezdového návěstidla S v km 1,805 a polohy dopravní v km 0,500 celých 1305 m. Fakt, že prostorové oddíly v modelu byly kratší než oddíly při tvoření jízdního řádu, mohl mít za důsledek situaci, že se vlaky jedoucí po sobě od Chuchle na Smíchov dostaly do kratší vzdálenosti a tudíž byla potřeba stavět vlaku druhému dříve vjezdovou cestu do Smíchova. První staniční kolej byla však obsazena prvním vlakem a tudíž se zvýšila pravděpodobnost, že druhému vlaku bude postavena variantní cesta na předjízdnu kolej.

Tato předjízdna kolej byla původně zřízena proto, aby se vlak druhý nezdržoval u vjezdového návěstidla v případě obsazení průběžné 1. koleje, ovšem v průběhu simulace ve velkém množství případů, kdy byla využita variantní cesta, se hlavní kolej uvolnila ještě před projetím druhého vlaku kolem vjezdového návěstidla a ten pak jel celých 1305 m rychlostí 40 km/h namísto 60 km/h, které je možné využít v hlavní koleji. Tím vzniklo relativně významné zpoždění, které nemohlo být zlikvidováno a ihned se započítalo do výstupního zpoždění vlaku. Je otázkou, zda bylo toto zpoždění vyšší než potenciální zpoždění, které by vzniklo, pokud by druhý vlak obsadil průběžnou první kolej po prvním vlaku, ale v některých případech by tomu tak bezpochyby bylo.

Důležitý je především poznatek, že při tvorbě výlukových jízdních řádů v FBS nebyl zvláště přesně specifikován provozní interval postupných vjezdů na Smíchově. V tomto místě proto mohlo dojít ke vzniku nepřesnosti ve výlukovém jízdním řádu příliš časným odjezdem druhého vlaku z Chuchle. Ten byl zakreslen příliš brzy za prvním vlakem, protože zadaný směrodatný provozní interval následné jízdy pro oddíl autobloku byl příliš krátký, respektive nezohlednil potřebu provozního intervalu postupného odjezdu a vjezdu na 1. koleji na Smíchově, pročež i v případě, že jely oba vlaky včas, první dokonce s náskokem, vzniklo u druhého vlaku na příjezdu do Smíchova zpoždění.

Pokud by takováto situace nastala v modelu, jehož součástí by byl obvod Vyšehrad a stanice Praha hl.n., **druhý vlak by velmi pravděpodobně vzniklé zpoždění ihned eliminoval při jízdě do Prahy hl.n., někdy dokonce pobyt v Praze-Smíchově, tudíž by se na výstupu simulace neprojevovalo.** Tím mohl být výsledek především simulace postupu B do určité míry zkreslen. V rámci tohoto postupu totiž docházelo k pravidelným předjížděním v Chuchli. Situaci ilustruje obr. 10.



Obr. 10, zpoždování vlaků v Praze-Smíchově, postup B. Zdroj: autor

Druhou příčinou možného zkreslení výsledků je fakt, že výstupní údaje neobsahují informaci o příjezdu vlaku do vstupního místa. Obsahují jen údaj o tom, kdy vlak opustí vstupní kolej, čili čas odjezdu z „výchozí“ stanice. Čas skutečného odjezdu může být ovlivněn nemožností postavit odjezdovou vlakovou cestu – na zhlaví či v traťovém oddílu se nachází jiný vlak. Vlak musí v počáteční stanici čekat, zpoždění roste a uvedené vstupní zpoždění se nerovná skutečnému vstupnímu zpoždění. Tento fakt mohl zkreslit simulaci postupu B v Berouně, konkrétně falešně snížit nárůst zpoždění.

7.2.2. Způsob zpracování dat

Pro každý vlak, který jede ve zkoumaném časovém úseku mezi 13. a 18. hodinou bylo stanoveno zpoždění na odjezdu ze stanice vstupu a zpoždění na příjezdu do stanice výstupu. V případě, že byl vlak v 18 hodin ještě na cestě do stanice výstupu z modelu, byla hodnota zpoždění na příjezdu do stanice výstupu nahrazena zpožděním na příjezdu, odjezdu, nebo průjezdu v poslední nácestné stanici před 18. hodinou. Pro vlaky Os, které se v průběhu své jízdy obrací ve stanici Beroun, Karlštejn nebo Praha-Radotín platí za výstupní zpoždění v lichém směru zpoždění na příjezdu do jejich cílové stanice a za vstupní zpoždění v sudém směru zpoždění na odjezdu z jejich výchozí stanice. Záporná hodnota zpoždění je v rámci celého vyhodnocení brána jako nulová. Zároveň osobní vlaky, které měly na příjezdu do obrátové stanice zpoždění menší nebo rovno 30 s jsou vedeny jako vlaky, které přijely včas. Nárůst zpoždění byl stanoven jako rozdíl hodnoty zpoždění na vstupu a výstupu. Z těchto údajů byl vytvořen průměr pro jednotlivé kategorie vlaků.

Údaje o počtu vlaků, které snížily nebo zvýšily své zpoždění o konkrétní dobu, byly zpracovány do histogramu nárůstu zpoždění, který je vytvořen pro všechny scénáře konkrétního jízdního řádu dohromady a bez ohledu na kategorii vlaku.

Dále byly zpracovány údaje o počtu zpožděných vlaků na vstupu i výstupu. Za vlak zpožděný se nepovažoval vlak, jehož zpoždění na vstupu nebo výstupu dosáhlo méně nebo rovno 30 s.

Pro jednotlivé kategorie vlaků byla stanovena průměrná hodnota zpoždění, která je počítána jako průměr všech údajů o zpoždění ve stanicích a zastávkách, kde měl vlak pobyt. U vlaků R a N se jedná o průměr dvou hodnot a to úrovně zpoždění na vstupu a na výstupu ze simulace.

Dále byly pro každý z náhodných scénářů zjištěny údaje o počtu konfliktů v jednokolejných úsecích, počtu neplánovaných předjíždění a údaj o likvidaci primárního zpoždění většího než 15 minut v jednokolejných úsecích. Počtem konfliktů v jednokolejných úsecích rozumíme počet situací, kdy byla jízda jednoho vlaku na vjezdu do jednokolejného úseku ovlivněna protijedoucím vlakem a vlak vjíždějící do úseku byl zpožděn. Pokud bylo křižujících (vjíždějících) vlaků více za sebou, byl započítán vždy pouze první křižující vlak. V případě, že jel vlak křižující s náskokem a jeho zpoždění vlivem brzdění nevzrostlo do kladných hodnot, nebyl započítán. Záměrně nebyly brány v potaz konflikty vlaků jedoucích za sebou ve stejném směru, neboť příčina takového konfliktu netkví v přítomnosti jednokolejného úseku jako takového, ale spíše v organizaci sledu vlaků.

Údaj o likvidaci primárního zpoždění většího než 15 minut stanoví průměrnou hodnotu zpoždění, které se přenášelo v jednokolejném úseku vlivem jízdy vlaku primárně opožděného o více než 15 minut. Takovýchto vlaků nebylo mnoho, většinou 0 – 2 vlaky ve scénáři. Uvedená hodnota se určí jako doba, která uplyne od příjezdu vlaku primárně zpožděného k mezistaničnímu úseku do vjezdu posledního vlaku, který byl sekundárně zpožděn jízdou vlaku primárního, do tohoto mezistaničního úseku. V případě, že se zpoždění nepřenášelo, je hodnota této veličiny rovna nárůstu zpoždění primárně zpožděného vlaku do dotčeného úseku.

7.2.3. Stavební postup B

Výsledky běhu jedenácti scénářů jsou uvedeny v přehledných tabulkách a grafech, budou okomentovány. Zároveň budou rozebrány a v nákrešných jízdních řádech znázorněny některé problematické situace, které se v průběhu simulací vyskytly.

Vyhodnocení		VSTUP				VÝSTUP			
Průměr		L(PB)	S(BP)	OBA		L(PB)	S(BP)	OBA	
		[min]	[min]	[min]	[1]	[min]	[min]	[min]	[1]
Kategorie	Os88	1,23	0,68	0,96	16,12%	1,37	1,87	1,62	41,73%
	Os99	1,02	0	0,51	11,82%	0,74	0,06	0,4	10,00%
	Os	1,13	0,35	0,74	14,07%	1,08	1,01	1,045	25,97%
	R	3,41	4,73	4,05	51,30%	3,94	3,98	3,94	49,35%
	SC	2,44	1,56	2	31,82%	3,05	0,6	1,82	36,36%
	RSC	3,29	4,33	3,81	48,86%	3,83	3,56	3,69	47,73%
	N	4,68	1,05	3,47	33,33%	6,1	3,74	5,31	33,33%
	VŠE	1,94	1,44	1,68	24,14%	2,14	1,78	1,94	32,04%

Tab. 17a, vstupní a výstupní zpoždění, postup B. Zdroj: autor

Vyhodnocení		NÁRŮST				PRŮM. ZPOŽDĚNÍ
Průměr		L(PB)	S(BP)	OBA		OBA
		[min]	[min]	[min]	[1]	[min]
Kategorie	Os88	0,14	1,19	0,67	25,61%	1,18
	Os99	-0,28	0,06	-0,11	-1,82%	0,46
	Os	-0,06	0,65	0,295	11,90%	0,81
	R	0,53	-0,75	-0,11	-1,95%	4,01
	SC	0,6	-0,96	-0,18	4,55%	1,91
	RSC	0,54	-0,77	-0,12	-1,14%	3,75
	N	1,42	2,68	1,84	0,00%	4,39
	VŠE	0,2	0,34	0,26	7,90%	

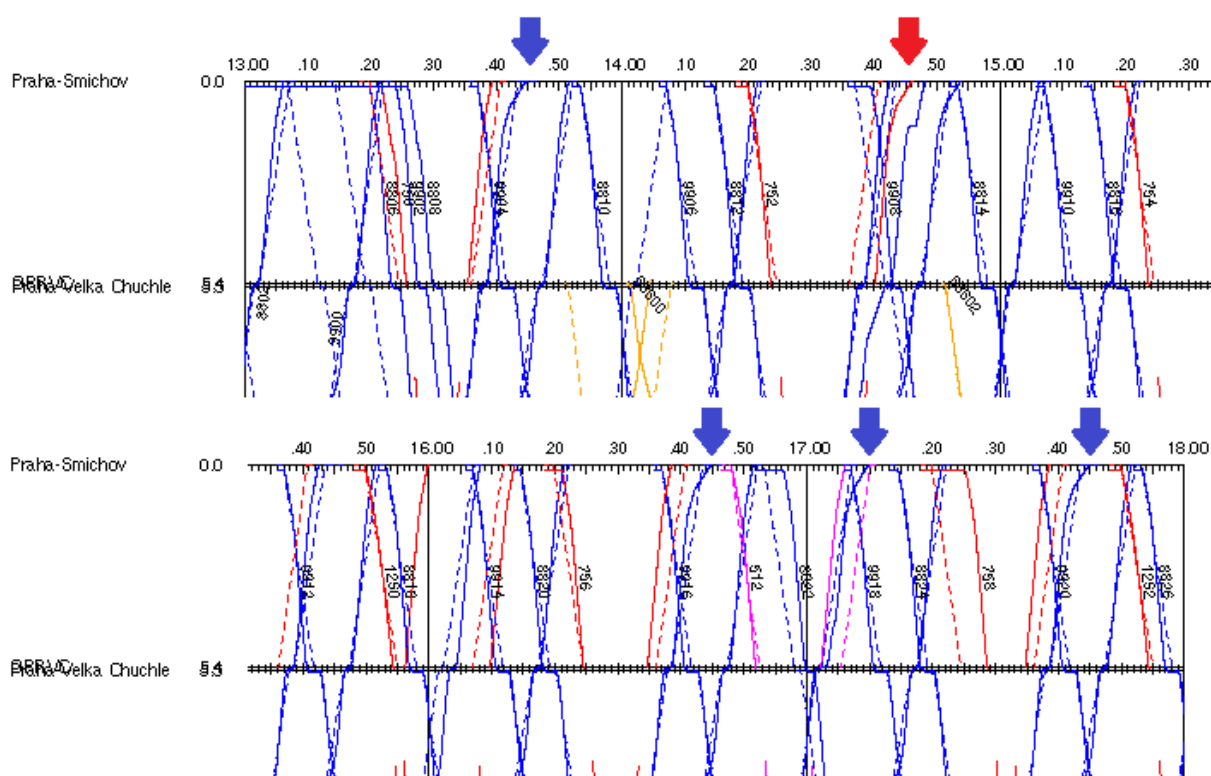
Tab. 17b, nárůst zpoždění, postup B. Zdroj: autor

Tabulky 17a a b uvádí data o průměrných zpožděních jednotlivých kategorií vlaků a nárůstu těchto zpoždění. Vlaky Os88 rozumíme vlaky číselné řady 88xx, jedoucí z Prahy hl.n. do Berouna/Karlštejna a zpět. Vlaky Os99 rozumíme vlaky číselné řady 99xx jedoucí z Prahy hl.n. do Prahy-Radotína a zpět. Sloupec L(PB) uvádí hodnoty pro směr lichý Praha – Beroun, S(BP) pro směr sudý Beroun – Praha. Pro oba směry je pak uvedena jak průměrná hodnota zpoždění, tak relativní množství zpožděných vlaků.

Osobní vlaky:

Nárůst jízdních dob osobních vlaků je minimální (či dokonce záporný) s výjimkou osobních vlaků řady 88xx ve směru do Prahy. Nárůst zpoždění v průměru o 1,19 minuty, včetně nárůstu počtu zpožděných vlaků o 25,61 procentního bodu může však být zkrácen zmíněným problematickým příjezdem do Prahy-Smíchova, kdy byly vlaky osobní vlaky vkládány v těsném sledu za rychlíkem. Jeden ze scénářů, který považuji za typický, zobrazuje počet takto vzniklých zpoždění, většinou se jednalo o zpoždění osobního vlaku, poměr vůči vlakům R 1:4-5 přibližně kopíruje průměr všech scénářů, viz obr. 11.

Praha-Smichov - Beroun



Obr. 11, scénář 138, zpoždění vznikající na vjezdu do ŽST Praha-Smichov. Zdroj: autor

U vlaků RSC je patrná větší schopnost likvidace zpoždění naopak ve směru sudém do Prahy, což je dáno zřejmě absolutní přírážkou 1 minuta, která se vztahovala k úseku Praha-Smichov – Praha-Radotín a zpět. Přírážka ve směru od Prahy nemohla být využita takovým způsobem, protože ke zpoždování vlaků docházelo až v jednokolejných úsecích. Bylo by tedy vhodné doporučit vložení této časové přírážky v lichém směru spíše v úseku Karlštejn – Beroun, kde bychom měli očekávat podobný výsledek. Je ovšem nutné říci, že takovýto výklad nemusí být jediným. Vlaky RSC směru sudého z Prahy do Berouna měly totiž signifikantně vyšší vstupní zpoždění, což bylo dáno druhou příčinou možného zkrácení výsledků uvedenou v kapitole 7.2.1. Jednokolejný úsek se nacházel mezi ŽST Beroun a odb. Lom. Čekal-li proto rychlík v Berouně, nebyl nárůst jeho zpoždění tímto zpožděním ovlivněn a zpoždění mohlo proto být falešně lépe likvidováno. Určitý náhled na relevantnost těchto závěrů nám poskytne výsledek simulace D, který nebyl tímto jevem zkrácen. S tím souvisí i fakt, který může být třetí příčinou vyššího zpoždění vlaku lichého směru, že místo křižování s vlaky sudého směru se nacházelo velmi blízko vjezdu do jednokolejného úseku u Mokropes. V případě, že rychlík sudého směru měl zpoždění, přeneslo se velmi snadno na rychlík směru lichého.

U vlaků SC byla hodnota vstupního zpoždění vlivem nízkého počtu vlaků (1 pár ve scénáři) a náhody odlišná pro jednotlivé směry, ale jelikož byla ve směru sudém nižší, nelze předpokládat vliv čekání na uvolnění úseku. Srovnání nárůstu zpoždění pro jednotlivé směry s vědomím rozdílnosti vstupních zpoždění, které není tak výrazné, abychom ho nemohli akceptovat, lze považovat za signifikantní, neboť hodnota Studentova dvouvýběrového t-testu pro nárůst zpoždění v jednotlivých směrech je 0,0093.

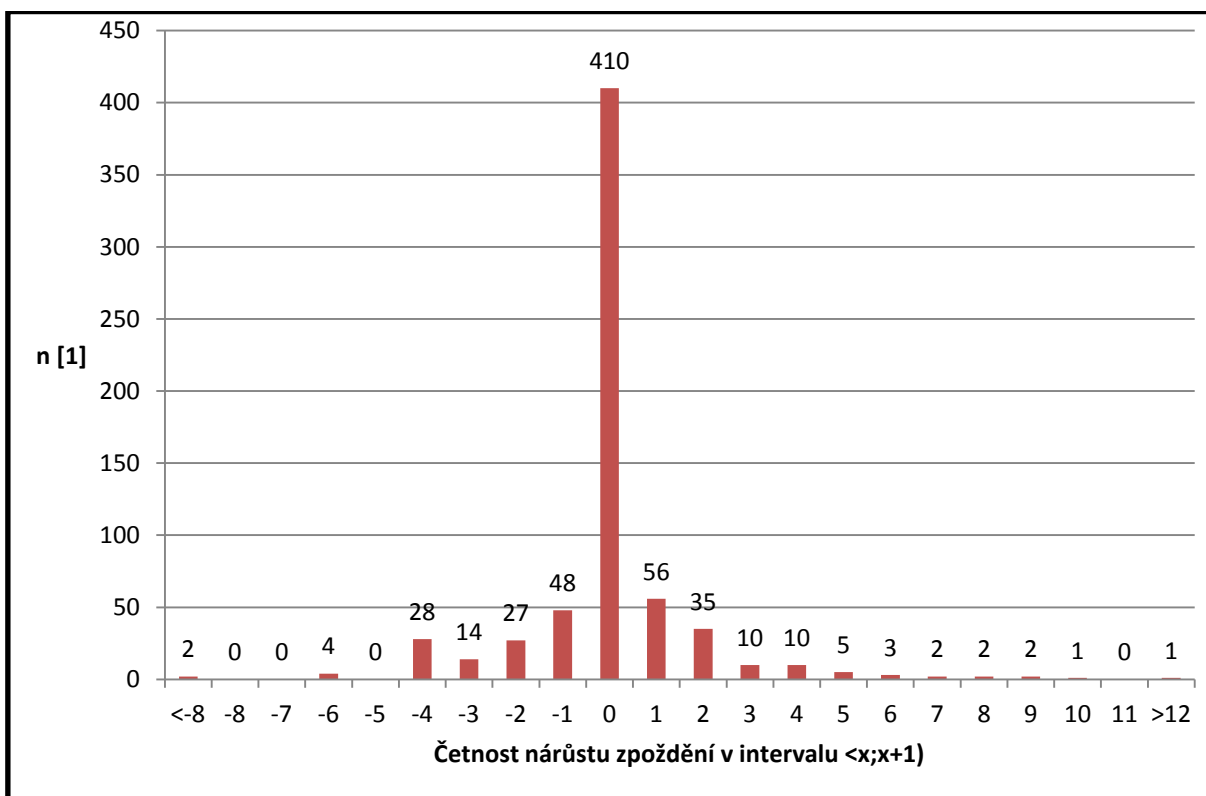
Hodnoty nárůstu zpoždění pro jednotlivé směry u kategorie nákladních vlaků nelze srovnávat, neboť nebylo prověřeno dostatečné množství scénářů. Počet vstupujících nákladních vlaků byl příliš nízký (22/11) a vstupní hodnoty zpoždění v obou směrech se vlivem náhody liší výrazným způsobem. I kdybychom se přesto pokusili srovnat hodnoty

nárůstu zpoždění, není to zodpovědně možné, neboť kvůli nízkému počtu vlaků je p-hodnota Studentova dvouvýběrového t-testu pro nárůst zpoždění rovna 0,2785.

Pozn. autora: Vliv časové polohy, který se projevil u jízdního řádu D1, viz dále, není možný aplikovat na řešený postup B a jeho jízdní řád, neboť většina nákladních vlaků jede o hodinu dříve než v JŘ D1 a v případě většího zpoždění není a priori jejich jízda omezena nedostatečnou kapacitou jednokolejných úseků.

Přesné hodnocení obou směrů je vzhledem k výše uvedeným faktům proveditelné obtížně, **hodnoty pro oba směry ukazují průměrný nárůst zpoždění 0,26 minuty a průměrný nárůst počtu zpožděných vlaků z 24,14% na 32,04%, tj. o 7,9 procentního bodu.** Průměrná hodnota nárůstu zpoždění menší než 0,5 minuty je v rámci dobré praxe obecně pokládána za vyhovující. Tuto maximální doporučenou hodnotu nárůstu pro úseky s výlukami stanoví i směrnice DB Netz 405 Kapacita dráhy, část 405.0104 Parametry a měřítka kvality. Dále je nutné říci, že hodnota nárůstu zpoždění se nezvyšovala v průběhu času. V každém ze scénářů lze najít moment, kdy se po vstupu vlaků primárně zpožděných tato zpoždění již dále nepřenášela, tedy všechny vlaky jely v ten moment včas. Systém konvergoval k rovnovážnému stavu a z toho pohledu ho lze považovat za stabilní.

Vlastnosti jízdního řádu z hlediska likvidace zpoždění a sekundárního zpoždování vlaků hodnotí histogram nárůstu zpoždění, viz graf na obr. 12.



Obr. 12, histogram nárůstu zpoždění, postup B. Zdroj: autor

$\Sigma n = 671$

Vidíme, že variabilita nárůstu zpoždění je malá – STD = 2,20, 61% hodnot se nachází v intervalu <0;1), 90. percentil souboru má hodnotu 2,13 minuty, 95. percentil pak hodnotu 3,25.

Tabulka 18a a b ukazuje výsledky simulací pro jednotlivé scénáře.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nárůst zpoždění [min]	Průměr	0,55	0,08	0,35	0,08	0,32	0,2	0,19	0,47	0,18	-0,04	0,52
	Sm. odch.	2,36	1,89	1,6	1,6	1,99	1,94	2,69	2,07	1,17	1,77	3,97
Předjetí mimo plán	[1]	3	0	1	0	2	4	2	1	1	1	2
Konflikty v jednokol. úsecích	[1]	4	7	12	7	9	16	8	11	7	9	10
Nárůst počtu zpožděných vlaků	[1]	4	5	10	5	3	7	10	5	4	3	6
Průměrná doba likvidace primárního zpoždění >15 min	[min]	5,67	3,33	12	5	0	5	1	6,67	N/A	N/A	16,5

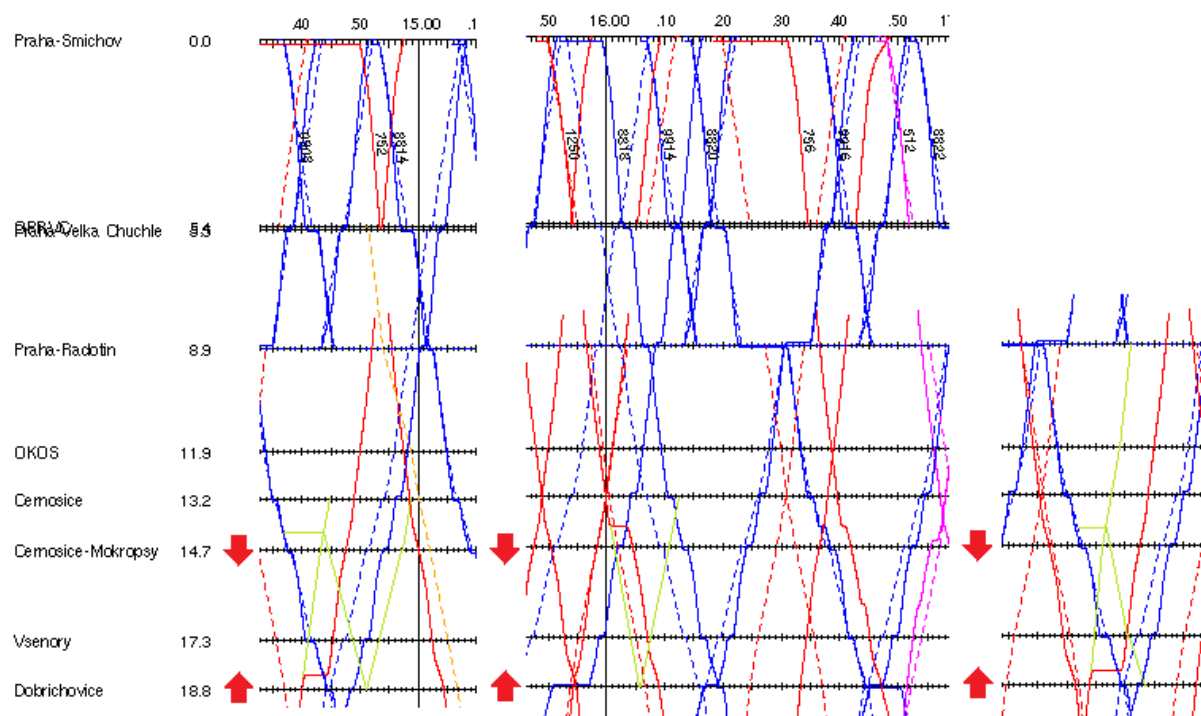
Tab. 18a, výsledky simulací jednotlivých scénářů. Zdroj: autor

		VŠE				
		Prům.	Medián	Min	Max	Sm.odch.
Nárůst zpoždění [min]		0,26	0,2	-0,04	0,55	0,2
Předjetí mimo plán [1]		1,55	1	0	4	1,21
Konflikty v jednokol. úsecích [1]		9,09	9	4	16	3,18
Nárůst počtu zpožděných vlaků [1]		5,64	5	3	10	2,46
Průměrná doba likvidace primárního zpoždění >15 min [min]		5,63	5	0	27	6,83

Tab. 18b, výsledky simulací jednotlivých scénářů. Zdroj: autor

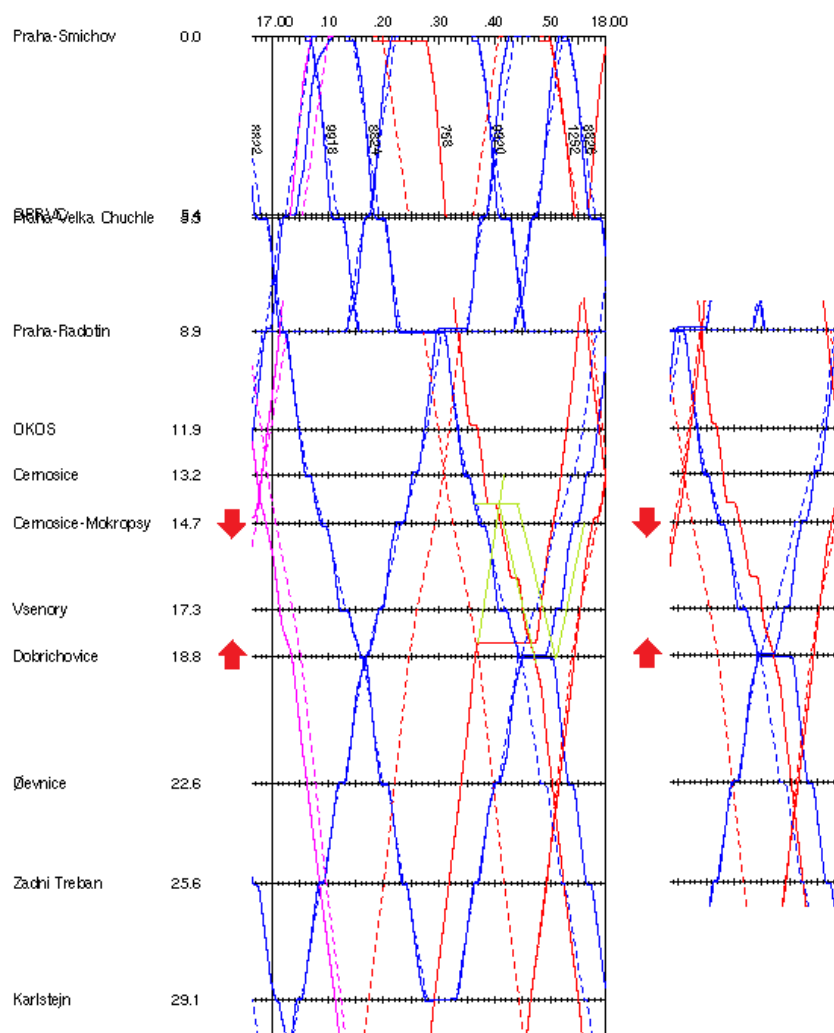
Zajímavé jsou výsledky doby likvidace velkých zpoždění, které dosahují velmi nízkých hodnot, zpoždění se přenáší v 50% případů jen do 5 minut. Takovýto výsledek na silně vytížené trati s rozsáhlými kapacitními omezeními je úspěchem. Je patrné, že výsledky jednotlivých scénářů přinesly relativně hodně variabilní výsledky celkové, bylo by proto vhodné provést větší množství opakování, tak aby měly celkové výsledky ještě vyšší vypovídací hodnotu. Ostatní data lze hodnotit hlavně v rámci srovnání s postupem D.

Simulace potvrdila fakt, že svazkování v úseku Radotín – Dobřichovice s vhodnými pravidly pro předjíždění v krajních dopravních jsou velice důležitými prvky řízení provozu plynulým způsobem bez nárůstu nežádoucích zpoždění. Pokud by byla zavedena striktní pravidla pro priority vlaků způsobem, který byl předem avizován, tj. rychlík čeká maximálně 3-4 minuty, nebylo by vždy možné dosáhnout takové plynulosti provozu, jako s volnějším režimem, kdy zvláště zpožděný vlak vyšší priority vyčká před jednokolejným úsekem a přednost má svazkování. Úsek Mokropsy – Dobřichovice je z tohoto pohledu už dostatečně dlouhý. Zároveň příliš dlouhá doba čekání na předjíždějící spoj spojeným předjížděním by mohly výrazně zvyšovat nárůst zpoždění. Příklady konkrétních situací vidíme na následujících obrázcích:



Obr. 13, 14, 15 situace v jednokolejném úseku Praha-Radotín – Dobruška. Zdroj: autor

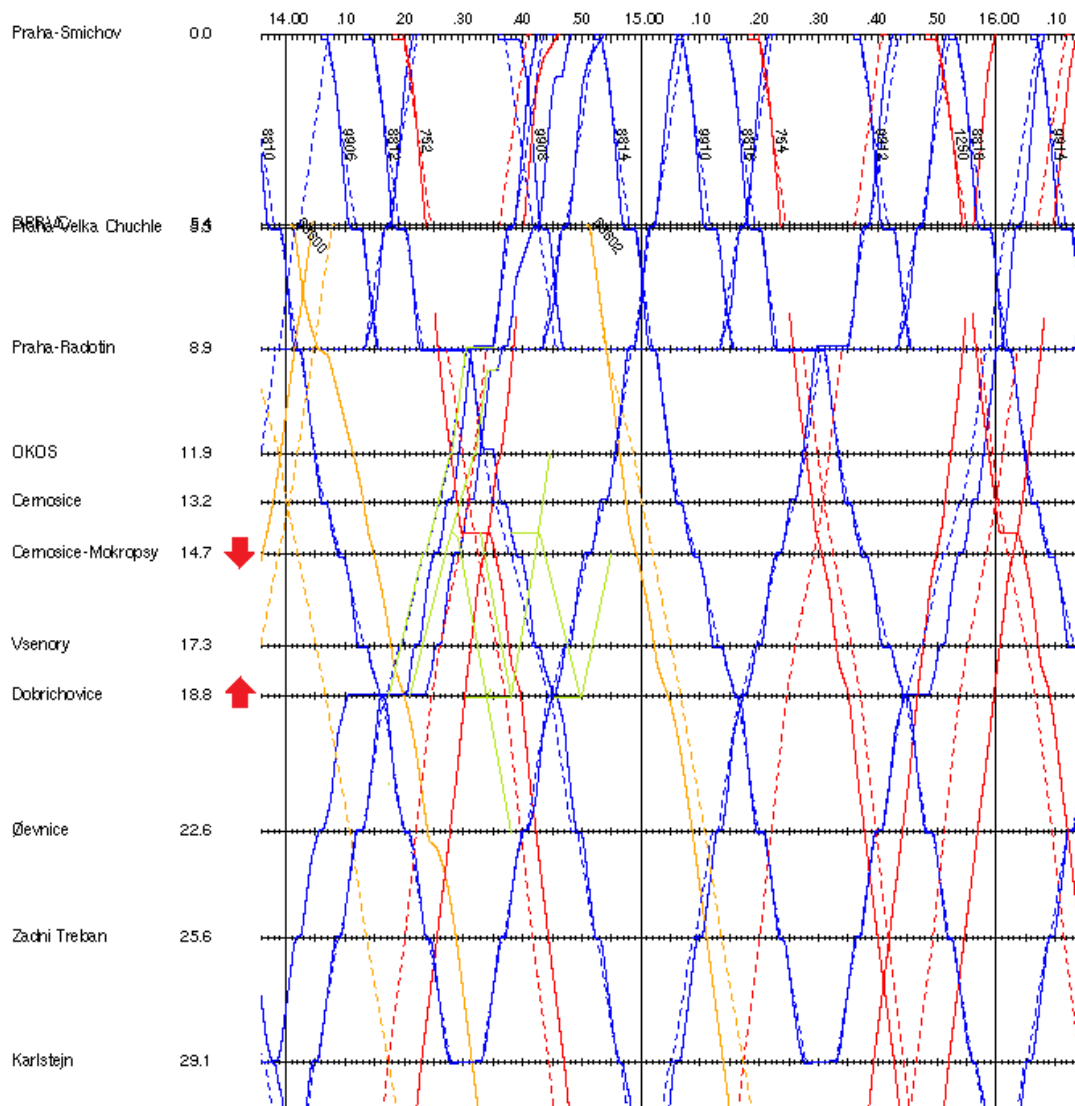
Na obrázcích 13 a 14 vidíme typickou situaci, kdy se vyplatil pobyt rychlíku na vstupu do jednokolejného úseku. Velikost pobytu byla 4 a 2 minuty. Obr. 15 ukazuje situaci, kdy pobyt rychlíku činil 6 minut a už nebyl tak účelný. V případě, že by osobní vlak od Berouna jel na čas, byla by smysluplnost tohoto pobytu větší. V momentě, kdy není třeba vlaky svazkovat, ztrácejí delší pobyty rychlíků smysl.



Obr. 16, 17 situace v jednokolejném úseku Praha-Radotín – Dobřichovice. Zdroj: autor

Obrázek 16 znázorňuje situaci, kdy bylo vzhledem k potřebě svazkovat vlaky přistoupeno k pobytu rychlíku v Dobřichovicích po cca 10 minut. V tomto případě je už situace nepatrně spornější, protože pobyt je dlouhý a ostatní zpoždění by zřejmě nerostla tak výrazně jako v případě zpožděného rychlíku od Berouna, nicméně z hlediska plynulosti provozu v situaci, kdy se v oblasti nachází mnoho vlaků je účelný.

Obrázek 17 se týká pravidel pro předjíždění, je patrné, že delší doba čekání osobního vlaku na zpožděný rychlík v Radotíně (1. dopravná shora) by měla výrazný dopad na zpoždění protijedoucího osobního vlaku a rychlíku – je vhodné zachovat původní schéma provozu. Situace na obrázku 16 je ostatně podobná.



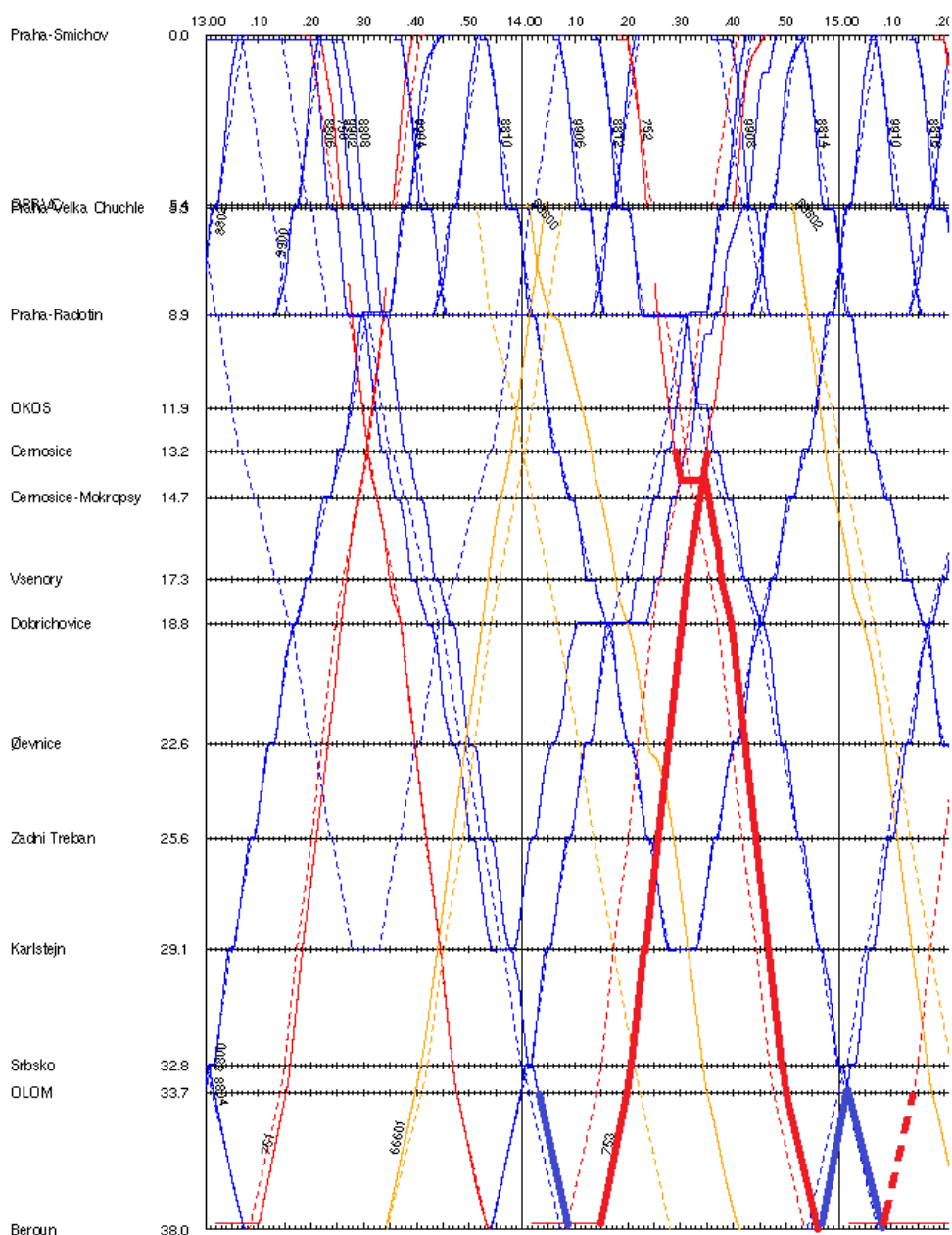
Obr. 18 situace v jednokolejném úseku Praha-Radotín – Dobřichovice. Zdroj: autor

Obrázek 18 ukazuje situaci, kdy je vhodné i svazování a upřednostnění nákladního vlaku. Zároveň vidíme schopnosti jednotlivých vlaků krátit jízdní doby při zpoždění. Osobní vlaky jsou schopny krátit zpoždění velmi dobře, vlak Os odjíždějící z Karlštejna v 15.33 je schopen přijet i s předjetím rychlíkem v Dobřichovicích na Smíchov s minimálním zpožděním. Rychlíky jsou schopny krátit zpoždění málo, možnost se naskýtá v úseku Praha-Smíchov – Praha-Radotín vzhledem k pevné přírážce 1 minuta, viz výše. Je potvrzena potřeba zavést větší přírážky k jízdním dobám u rychlíků.

Nákresné jízdní řády nám poskytnou i odpověď na jednu ze základních položených otázek a to je ta, zda a jakým způsobem se bude přenášet zpoždění mezi vlaky vzhledem k poloze jednokolejných úseků, které jsou od sebe vzdáleny přibližně 15 minut jízdy, tj. čtvrtinu taktu.

Z tohoto pohledu se potenciálně rizikovým ukázal dopravní vzorec znázorněný na obrázku 19, kterého se účastní pár rychlíků v úseku Beroun – Černošice-Mokropsy a pár osobních vlaků v úseku Beroun – Lom.

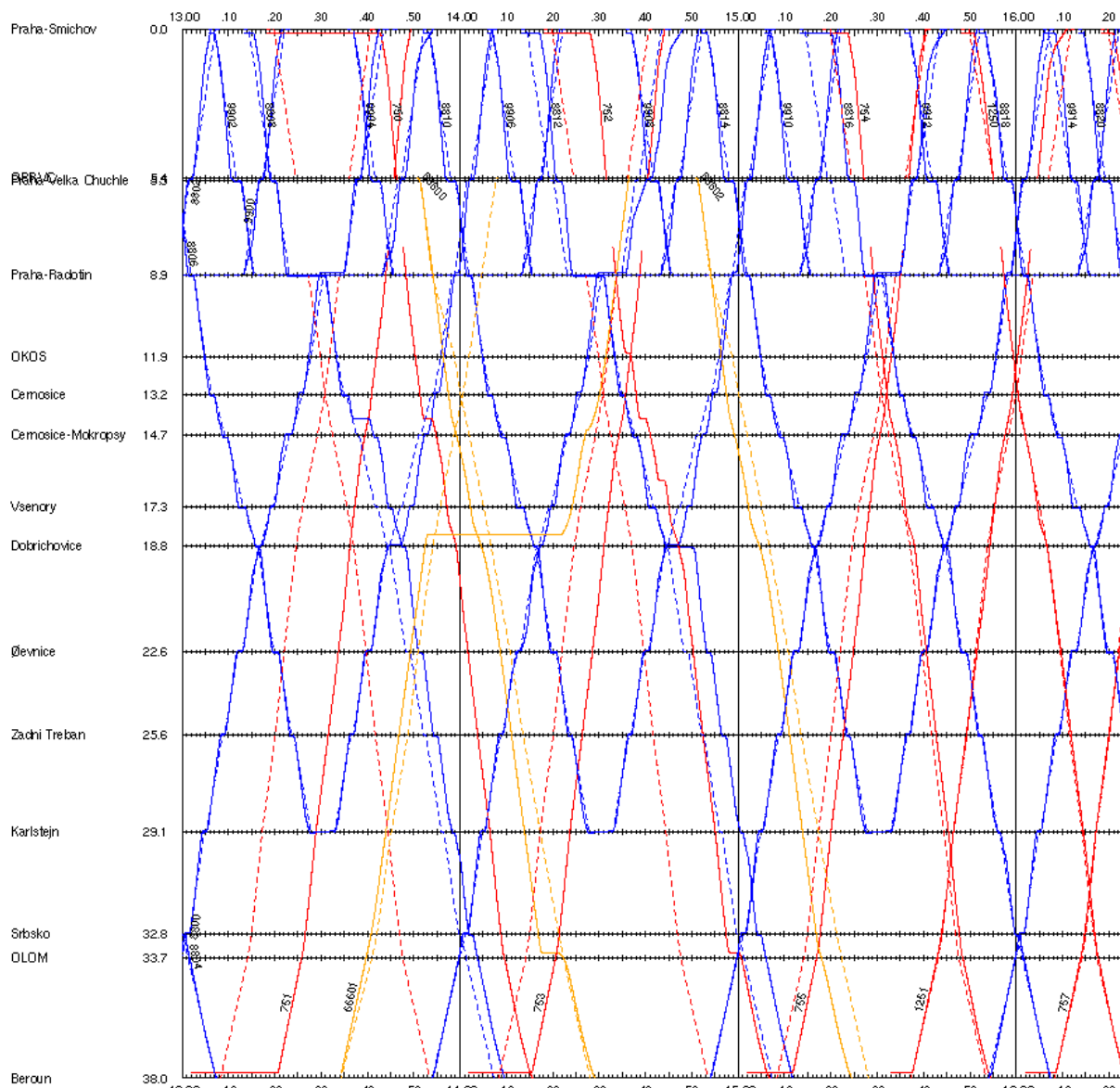
Praha-Smichov - Beroun



Obr. 19, rizikový vzorec, postup B. Zdroj: autor

V případě zpoždění některého z vlaků se zpoždění přenášelo i do více taktových period. Celkový potenciál likvidace zpoždění v tomto vzorci v případě plánovaného sledu vlaků lze vypočítat jako součet potenciálu každého z těchto vlaků. Jedná se přibližně o 1 minutu v jízdních dobách každého z rychlíků, 0,5 minuty v jízdních dobách každého z osobních vlaků, 1,5 minuty na křižování v Mokropsech, 2x1 minutu na křižování v Berouně a 1 minutu na křižování v Lomu. Celkem tedy 7,5 minuty v hodině. Zároveň můžeme získat přesnější hodnotu jako vlastní výstup z modelu, zjišťujeme vývoj událostí při zpoždění vlaku 753 ve scénáři 138, uvedeném na obrázku 16, kdy vlak 753 odjel z Berouna se zpožděním 6:08 a za hodinu přijel zpět osobní vlak 8812 se zpožděním +1:01 minuta. S další minutovou rezervou je to tedy **zkrácení o 6 minut a 7 vteřin za hodinu**. Je otázkou, zda by v praxi za konkrétních podmínek nebylo zkrácení zpoždění ještě menší.

Obrázek 20 ukazuje, jak se přenášelo zpoždění vlaku 750, představme si situaci, že by jel vlak 752 a 754 včas.
 Praha-Smichov - Beroun



Obr. 20, přenos zpoždění, scénář 200. Zdroj: autor

Na základě uvedených skutečností je proto vydáno doporučení, které lze chápat jako nadřazené předchozím úvahám o pravidlech jízdy v jednokolejném úseku Černošice-Mokropsy – Dobřichovice a potřebě vlastního svazkování. Je vhodné, aby zpožděný rychlík sudého směru vyčkal v Dobřichovicích na protijedoucí rychlík a osobní vlak lichého směru v případě, že by svou jízdou zpozdil některý z těchto vlaků o 5 minut či více, nejedná-li se o případ, kdy jsou tyto vlaky zpožděny výrazně (tím máme na mysli hodnoty 10 – 15 minut a vyšší, když už nelze uvažovat o uzavřeném cyklu znázorněného dopravního vzorce). Ilustrativní ukázkou tohoto postupu vidíme na obrázku 16.

V lichém směru na odb. Lom by bylo možné aplikovat podobné opatření, zde už je ovšem situace složitější, protože svazkování není tak účelné jako u Dobřichovic a další zpoždění by mohlo rozvázat či narušit vazby v Plzni hl.n. Byla by proto zapotřebí podrobnější analýza.

7.2.4. Stavební postup D

Vyhodnocení		VSTUP				VÝSTUP			
		L(PB)	S(BP)	OBA		L(PB)	S(BP)	OBA	
Průměr		[min]	[min]	[min]	[1]	[min]	[min]	[min]	[1]
Kategorie	Os88	0,77	0,13	0,45	11,82%	1,36	0,4	0,88	25,91%
	Os99	1,06	0,73	0,89	19,09%	0,92	0,74	0,83	20,45%
	Os	0,91	0,43	0,67	15,45%	1,14	0,57	0,85	23,18%
	R	4,39	2,64	3,51	44,89%	4,78	2,57	3,68	51,70%
	SC	1,22	3,65	2,44	36,36%	0,61	2,9	1,76	22,73%
	RSC	4,04	2,76	3,40	43,94%	4,31	2,61	3,46	48,48%
	N	7,37	0,99	4,18	45,45%	15,12	0,27	7,695	45,45%
	VŠE	2,07	1,15	1,61	25,00%	2,56	1,17	1,86	31,52%

Tab. 19a, vstupní a výstupní zpoždění, postup D. Zdroj: autor

Vyhodnocení		NÁRŮST				PRŮM. ZPOŽDĚNÍ
		L(PB)	S(BP)	OBA		OBA
Průměr		[min]	[min]	[min]	[1]	
Kategorie	Os88	0,58	0,27	0,43	14,09%	0,66
	Os99	-0,14	0,01	-0,06	1,36%	0,77
	Os	0,22	0,14	0,18	7,73%	0,72
	R	0,38	-0,07	0,16	6,82%	3,6
	SC	-0,62	-0,75	-0,68	-13,64%	2,1
	RSC	0,27	-0,15	0,06	4,55%	3,43
	N	7,76	-0,72	3,52	0,00%	5,94
	VŠE	0,49	0,02	0,26	6,52%	

Tab. 19b, nárůst zpoždění, postup D. Zdroj: autor

Tabulky 17a a b uvádí data o průměrných zpožděních jednotlivých kategorií vlaků a nárůstu těchto zpoždění. Vlaky Os88 rozumíme vlaky číselné řady 88xx, jedoucí z Prahy hl.n. do Berouna/Karlštejna a zpět. Vlaky Os99 rozumíme vlaky číselné řady 99xx jedoucí z Prahy hl.n. Sloupec L(PB) uvádí hodnoty pro směr lichý Praha – Beroun, S(BP) pro směr sudý Beroun – Praha. Pro oba směry je pak uvedena jak průměrná hodnota zpoždění, tak relativní množství zpožděných vlaků.

Osobní vlaky:

Nárůst jízdních dob vlaků Os je výraznější než u vlaků RSC, což je vzhledem k jejich nižší prioritě předpokládaným jevem. Jedná se o stejný výsledek, jako v případě stavebního postupu B. Vyšší schopnost vlaků SC likvidovat zpoždění je dán menším počtem konfliktů s jinými vlaky R. Příčin je několik.

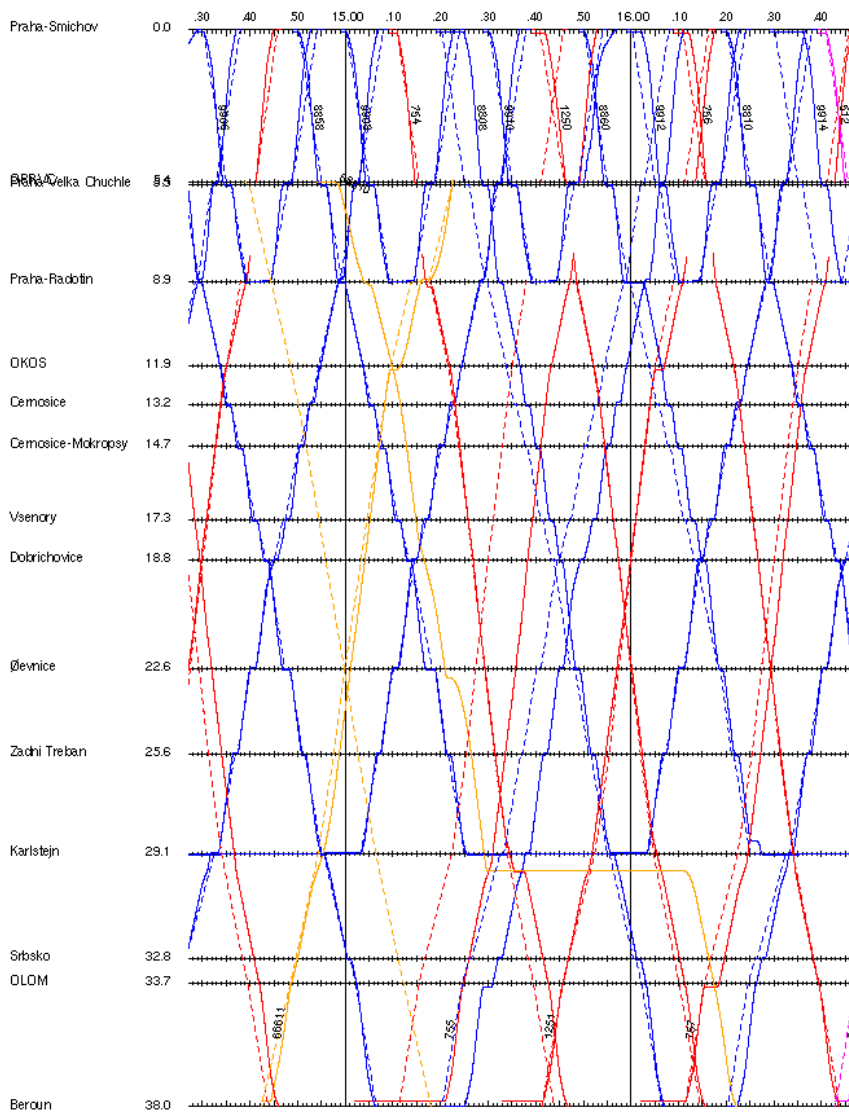
- Konflikt s protijedoucím vlakem SC je díky nízké pravděpodobnosti jejich vstupního zpoždění málo pravděpodobný a v simulovaných scénářích pouze jeden.
- Nízká pravděpodobnost a hodnota vstupního zpoždění snižuje zároveň riziko konfliktu s rychlíkem (hodnoty rezerv pro křižování jsou od 5 do 10 minut).
- Rychlíky, které jsou v potenciálním konfliktu s vlaky SC, jsou vlivem náhody opožděny velmi málo.

Nárůst zpoždění rychlíků nevykazuje takový rozdíl v jednotlivých směrech jako v případě stavebního postupu B. To svědčí o tom, že umístění přírážky jízdní doby mezi Smíchov a Radotín nesehrálo takovou roli, jako spíše zkrácení zpoždění rychlíků sudého směru na vstupu a s tím související vyšší pravděpodobnost přenosu tohoto zpoždění na vlak lichého směru. Hodnoty rezerv pro křižování byly v jízdním řádu D1 vyšší, místa křižování byla jinými slovy ve vhodnější pozici, dále od jednokolejných úseků.

Zjištěné rozdíly hodnot nárůstu zpoždění nákladních vlaků v jednotlivých směrech úzce souvisí s rozdílem ve vstupním zpoždění. Trasy nákladních vlaků jsou vloženy symetricky kolem 15. hodiny, což je jediná hodina, kdy nejede pár vlaků R2 a SC a nákladní trasy jsou vloženy právě namísto těchto tras. V případě menšího zpoždění je možné jednokolejným úsekem odb. Lom – Karlštejn projet, ovšem v případě, kdy je vlak opožděn o více než cca 15 minut směrem z Prahy nebo 20 minut směrem od Berouna je tento úsek v následujících hodinách obsazen velkým počtem vlaků osobní dopravy (4 rychlíky a 2 vlaky Os), které nesmí být zpožděny, což si vyžádá potřebu pobytu v Karlštejně nebo Berouně. Trasy vlaků jsou navíc zakresleny a časové mezery rozmístěny takovým způsobem, že v případě, že jedou všechny vlaky osobní dopravy včas, není možné, aby nákladní vlak projel mezi Karlštejnem a Berounem bez sekundárního zpoždění některého z vlaků osobní dopravy od 15:15 do 18:33 hodin.

Druhý úsek představuje pro nákladní dopravu částečné omezení, kdy je obsazen čtyřmi vlaky osobní dopravy nepřetržitě od minuty 18 do minuty 38. Dvě větší zpoždění cca 20 a 30 minut nákladních vlaků z Prahy do Berouna ve dvou ze scénářů proto zvýšilo hodnotu průměrného zpoždění a vyžádalo si u jednoho z nich pobyt cca 25 minut v Radotíně a 15 minut v Karlštejně, u druhého pobyt cca 45 minut v Karlštejně. Aby mohla být realizována jízda dále do Lomu a Berouna během časového úseku s velkým počtem vlaků osobní dopravy, musel být opožděn protijedoucí rychlík o cca 3 minuty. Toto zpoždění rychlík během jízdy do Prahy-Smíchova zkrátil, viz obr. 21.

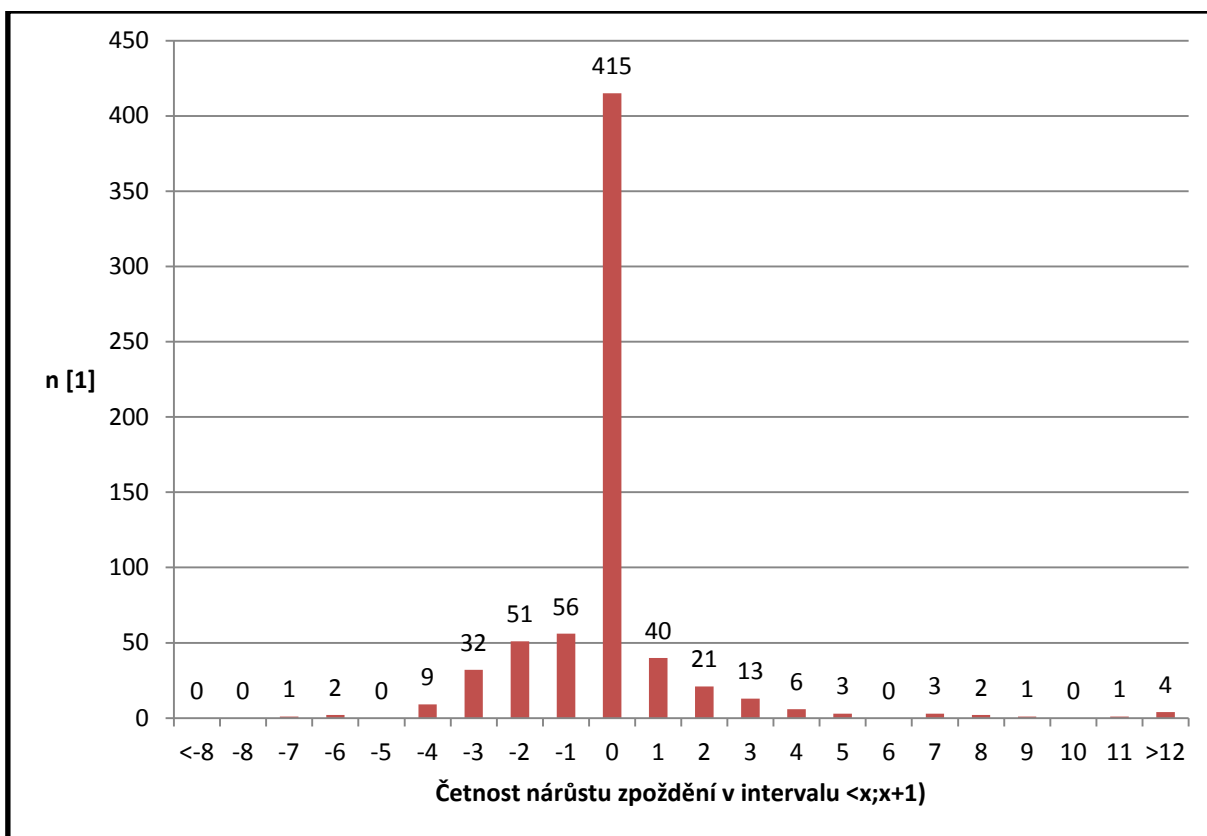
Pobyt jednoho nákladního vlaku v Karlštejně je možný na 7. dopravní koleji délky 641 m bez nástupiště, která nebyla součástí modelu, bez toho, aby vlak překážel na čtyřech dopravních kolejích s nástupištěm, které lze považovat za zcela dostatečné pro provoz vlaků osobní dopravy.



Obr. 21, problematika nedostatečné kapacity pro zpožděné nákladní vlaky. Zdroj: autor

Výsledné hodnoty nárůstu zpoždění vyčteme z tabulky 19b, vidíme, že **průměrný nárůst zpoždění pro oba směry činí 0,26 minuty a průměrný nárůst počtu zpožděných vlaků z 25 % na 31,52 %, tj. o 6,52 proc. bodu.** Fakt, že se průměrná hodnota nárůstu zpoždění rovná hodnotě JŘ pro postup B rozhodně sám o sobě neznamená, že jsou tyto jízdny řady stejně kvalitní. Z tohoto pohledu nárůstu zpoždění jistě ano, ale obecně bychom porovnávali systémy ne zcela objektivně porovnatelné. Nižší nárůst počtu zpožděných vlaků je úspěchem, lze ho přisuzovat vhodnějším místům pro křižování a snížení pravděpodobnosti přenosu zpoždění, což platí především pro úsek mezi Karlštejnem a Berounem. Průměrná hodnota nárůstu zpoždění je stejně jako u postupu B vzhledem k obecně uznávaným kritériím vyhovující. I v případě D se hodnota nárůstu zpoždění se nezvyšovala v průběhu času. V devíti z jedenácti scénářů lze najít moment, kdy se po vstupu vlaků primárně zpožděných tato zpoždění již dále nepřenášela, tedy všechny vlaky jely v ten moment včas. Systém konvergoval k rovnovážnému stavu a z toho pohledu ho lze považovat za stabilní. Ve dvou případech takovýto moment nalézt nemůžeme, příčinou této skutečnosti je však vstup dalších primárně zpožděných vlaků v momentě, kdy byla všechna sekundární zpoždění zlikvidována a přítomnost těchto nových primární zpoždění s nimi logicky a ze své podstaty nesouvisí.

Vlastnosti jízdny řady z hlediska likvidace zpoždění a sekundárního zpoždění vlaků hodnotí histogram nárůstu zpoždění, viz graf na obr. 22.



Obr. 22, histogram nárůstu zpoždění, postup D. Zdroj: autor
 $\Sigma n = 660$

Vidíme, že variabilita nárůstu zpoždění je o mnoho vyšší než v případě B – $STD = 3,03$, což je dáno především výskytem většího počtu extrémních hodnot – hlavně zpoždění nákladních vlaků. (Pokud tato vypustíme ze souboru, klesá STD na 1,59.) 63% hodnot se nachází v intervalu $\langle 0; 1 \rangle$, 90. percentil souboru má hodnotu 1,78 minuty (oproti 2,13 minuty v případě postupu B), 95. percentil pak hodnotu 2,99. 22% procent vlaků krátí vstupní zpoždění (jen 18% u postupu B), 15% zpoždění zvyšuje o 1 minutu a více (21% u postupu B). Dobrá schopnost krátit vstupní zpoždění je patrná i z grafu.

Tabulka 20a a b ukazuje výsledky simulací pro jednotlivé scénáře.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nárůst zpoždění [min]	Průměr	0,46	-0,02	-0,04	0,11	0,49	-0,24	0,36	0,16	0,77	0,89	-0,12
	Sm. odch.	3,21	1,65	1,13	1,48	2,14	1,38	1,66	2,34	4,92	6,67	1,17
Předjetí mimo plán	[1]	1	3	1	2	2	1	5	2	3	1	1
Konflikty v jednokol. úsecích	[1]	10	8	7	5	8	8	16	17	9	10	3
Nárůst počtu zpožděných vlaků	[1]	1	3	1	0	6	1	13	8	7	6	-3
Průměrná doba likvidace primárního zpoždění >15 min	[min]	14	11,5	10	13	9	13	N/A	N/A	20,5	N/A	N/A

Tab. 20a, výsledky simulací jednotlivých scénářů. Zdroj: autor

		VŠE				
		Prům.	Medián	Min	Max	Sm.odch.
Nárůst zpoždění	[min]	0,26	0,16	-0,24	0,89	0,37
Předjetí mimo plán	[1]	2	2	1	5	1,26
Konflikty v jednokol. úsecích	[1]	9,19	8	3	17	4,17
Nárůst počtu zpožděných vlaků	[1]	3,91	3	-3	13	4,55
Průměrná doba likvidace primárního zpoždění >15 min	[min]	13,94	13	9	28	5,93

Tab. 20b, výsledky simulací jednotlivých scénářů. Zdroj: autor

Hodnocení těchto charakteristik je významné především ve srovnání se stavebním postupem B, viz tab. 18b. Vidíme nižší medián nárůstu zpoždění v minutách (oproti 0,2), což odpovídá histogramu na obr. 19. Nárůst počtu zpožděných vlaků je nižší (3,91 oproti 5,64), ale vykazuje výrazně vyšší variabilitu (STD 4,55 oproti 2,46 s min. 3 a max. 10). Doby likvidace velkých zpoždění jsou výrazně vyšší (průměr 13,94 min oproti 6,12 min), což souvisí jednak s problémem nákladní dopravy, ale zdaleka ne výhradně s ním. STD je v obou případech velmi podobná, v postupu B se kupříkladu 4x krát vyskytla hodnota 0 minut, zatímco v případě postupu D byla minimální hodnota 9 minut. Tento fakt souvisí s odlišným uspořádáním mezer v jednokolejných úsecích a z pohledu stability staví jízdní řád D do rizikovější roviny. Je možné namítnout, že nebylo provedeno dostatečné množství simulací, neboť počet vstupujících takto výrazně zpožděných vlaků byl nízký. Konkrétně 17 v případě postupu B a pouze 8 v případě postupu D. Situaci, že rozdílnost byla čistě náhodná nelze zcela vyloučit, ačkoli nacházíme relativně smysluplné vysvětlení proto, že náhodná nebyla. Pohlížíme-li na problém čistě statisticky, jsme schopni zamítnout nulovou hypotézu na hladině významnosti $p = 0,033$.

Z hlediska průběhu simulací se neukázaly žádné zvláštní problémy kromě zmíněné omezené kapacity úseku Karlštejn – Lom. Operativní zvládnutí situace na základě komunikace výpravčích v Berouně a Karlštejně by nemělo být problémem.

Trasy vlaků R zároveň nevytvářejí vzorec rizikový z hlediska cyklického přenosu zpoždění mezi jednotlivými taktovými periodami.

8. Závěr

Simulace prokázaly, že provoz podle jízdních řádů vypracovaných pro oba stavební postupy je plynulý a stabilní. V průběhu času od 13 do 18 hodin nedocházelo ke zvyšování nárůstu průměrného zpoždění a hodnota průřezového zpoždění byla schopna konvergovat k nule. V obou stavebních postupech činil průměrný nárůst zpoždění 0,26 minuty na vlak, což považujeme za přijatelnou hodnotu.

Výlukový jízdní řád pro stavební postup B vykazoval vzhledem k poloze míst křižování rychlíků vyšší pravděpodobnost přenosu zpoždění, zvláště na rychlíky liché směru z Prahy do Berouna, výše přenosu zpoždění však byla přijatelná. Jízdní řád vykazoval velmi dobré vlastnosti z pohledu likvidace velkých zpoždění, ostrá křižování na okrajích jednokolejných úseků nabízela v jiných částech špičkové hodiny široké mezery pro jízdu zpožděných vlaků. Velice podstatným předpokladem udržení nárůstu zpoždění se ukázal být systém přesných pravidel pro předjíždění a zároveň citlivý přístup pro prioritu vstupu vlaků

do jednokolejného úseku mezi Odb. Černošice-Mokropsy a ŽST Dobřichovice. Rychlík měl mít před osobním vlakem přednost v případě, že by jeho doba pobytu byla větší než 3-4 minuty, ovšem v případě možnosti svazkovat a předejít zbytečným změnám směru jízdy považují za vhodný pobyt delší, a to do 6 – 8 minut. Základním požadavkem je pravidlo, které je prevencí přenosu zpoždění mezi časovými periodami. To říká, že zpožděný rychlík sudého směru vyčká v Dobřichovicích na protijedoucí rychlík a osobní vlak lichého směru v případě, že by svou jízdou zpozdil některý z těchto vlaků o 5 minut či více, nejedná-li se o případ, kdy jsou tyto vlaky zpožděny výrazně (tím máme na mysli hodnoty 10 – 15 minut a vyšší, když už nelze uvažovat o uzavřeném cyklu výše uvedeného dopravního vzorce). V případě zavádění výlukového jízdního řádu B do praxe by bylo vhodné počítat s vyšší přírážkou k jízdním dobám rychlíků v lichém směru, nejlépe po projetí obou jednokolejných úseků, tedy zvýšit pobyt v ŽST Beroun, nebo vložit časovou přírážku do některého z navazujících úseků.

Výlukový jízdní řád pro stavební postup D vykazoval ještě příznivější vlastnosti z hlediska přenosu zpoždění. Průměrná hodnota nárůstu zpoždění byla sice stejná, ale počet sekundárně zpožděných vlaků byl nižší. Příčinou byla zřejmě ne tak ostrá křižování na okrajích jednokolejných úseků, jako v postupu B. Horší vlastnosti jsme ovšem našli v oblasti stability při vzniku výrazných zpoždění, kdy se dařilo zlikvidovat takováto zpoždění v jednokolejných úsecích až po v průměru 13,94 minutách (medián 13 minut). I přes relativně nízký počet vlaků s tímto vysokým primárním zpožděním považují rozdíl v simulaci obou jízdních řádů za prokazatelný. Je pravděpodobné, že změnou priorit některých vlaků (zvláště vlaků nákladní dopravy) by bylo možné takto vysoký nárůst zpoždění a s tím související nežádoucí doby snížit, ovšem zřejmě pouze za cenu zpoždění vlaků vyšší kategorie. Zásady operativního řízení nastavené v simulaci postupu D se zdály dostatečnými pro zajištění plynulého provozu.

Objevily se některé skutečnosti, které mohly určitým způsobem zkreslit výsledky simulace, ovšem pouze v rámci drobných nepřesností kvantitativních výstupů simulace výlukového jízdního řádu pro postup B. Simulace postupu D se pravděpodobně téměř nedotkly. Závěry o stabilitě jízdního řádu a závěry o pravidlech operativního řízení provozu považují v obou řešených postupech za jimi nezpochybnitelné.

Ačkoli byl model vytvářen s velkou pečlivostí a na základě podrobných znalostí a zkušenosti autora s provozem na zkoumané trati, některé charakteristiky jako sklony trati a odpory v obloucích byly zanedbány, nebylo možné přesně stanovit viditelnost návěstidel a zároveň není zcela jasné, zda by stanovené povinné doby vlaků osobní dopravy vždy beze zbytku stačily aktuální přepravní situaci. Tyto nepřesnosti by neměly znamenat výraznější rozdíly oproti situaci v reálném provozu, nicméně je možné, že bude na základě zkušeností z provozu při výlukách nutné určitým způsobem poopravit přesné časové polohy jednotlivých spojů apod. V případě, že budou stavební práce probíhat odlišným způsobem, nebo si vyžádají jiná rychlostní omezení apod., je možné model upravit tak, aby byl schopen ověřit provoz za odlišných podmínek. Model je zároveň připraven k testování jakýchkoli dalších výlukových stavů souvisejících s jinými stavebními postupy. Základní stavební uspořádání trati se bude během rekonstrukce zřejmě měnit minimálně, a pokud dojde k odpovídajícím změnám parametrů infrastruktury modelu, jako jsou rychlosti v jednotlivých úsecích a vlakových cestách, změny poloh návěstidel, změny zabezpečovacího zařízení atp., a vložení dalšího jízdního řádu, je možné získat v relativně krátkém čase výsledky simulací pro další výlukové jízdní řády dalších stavebních postupů a naplánovat tak provoz na této páteřní trati co nejlépe.

Otázkami nezodpovězenými však stále zůstává, která z konkrétních variant rekonstrukce bude nakonec vybrána, kdy k rekonstrukci trati dojde a především otázka, zda má smysl trať 521/171 v celé své délce přestavovat, tak aby splňovala požadavky mezinárodního železničního koridoru, když je předem jasné, že rekonstrukce ve stávající

stopě s přeložkami některých oblouků nezaručí ani podstatné zvýšení traťové rychlosti ani výrazné navýšení kapacity pro dálkovou dopravu. Ta bude neustále konfrontována s kapacitními požadavky a provozními nepravidelnostmi příměstské dopravy, jejíž provoz je po rekonstrukci plánován v 10-ti minutovém taktu.

Bibliografie:

- [1] BISKUP, Jan. *Kapacita dopravní infrastruktury mezi Prahou a údolím Berounky v porovnání s vývojem přepravních vztahů do roku 2041*. 2014a. Semestrální práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [2] BISKUP, Jan. *Koncepce provozu během stavebních prací v úseku Praha - Beroun*. 2014b. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [3] BULÍČEK, Josef. Propustnost železniční dopravy [online] Pardubice: Univerzita Pardubice, 2011, 48 s [cit. 2014-07-27]. Dostupné z: <http://www.drkla.wz.cz/opora.pdf>
- [4] DB NETZ AKTIENGESELLSCHAFT. *Richtlinie Fahrwegkapazität 405*. Berlin, 2008.
- [5] HANSEN, Ingo Arne a Jörn PACHL. *Railway Timetable & Traffic - Analysis, Modelling, Simulation*. Eurailpress, 2008. ISBN 978-3-7771-0371-6.
- [6] HÜRLIMANN, Daniel. *Objektorientierte Modellierung von Infrastrukturelementen und Betriebsvorgängen im Eisenbahnwesen*. 2001. Dissertation. Technische Wissenschaften ETH Zürich.
- [7] HÜRLIMANN, Daniel a Andrew B. NASH. *OpenTrack, Simulation of Railway Networks, version 1.6. Manual*. Zürich, 2010, 151 s.
- [8] Mapy.cz. *Seznam.cz, s.r.o.* [online]. 2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [9] MOLKOVÁ, Tatiana et al. *Kapacita železničních tratí*. 1. vydání. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2010, 150 s. ISBN 978-80-7395-317-1.
- [10] Sauthoff-Formel. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2016 [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <https://de.wikipedia.org/wiki/Sauthoff-Formel>
- [11] SUDOP PRAHA A.S. *Komplexní řešení spojení Praha – Beroun jako součást III. TŽK: Projektová dokumentace k rekonstrukci železnice: Varianty Černošice MiRek, Černošice MaRek, Mokropsy MiRek a Mokropsy MaRek* [online]. Praha, 2011. [cit. 2016-05-02] Dostupné z: <http://www.mestocernosice.cz/projekty-a-dotace/strategicke-zamery/rekonstrukce-zeleznice/>
- [12] SUDOP PRAHA A.S. *Podklady pro PD stavby "Optimalizace trati Černošice (včetně) - Beroun (mimo)“: Zásady organizace výstavby, podklady pro EIA*. Praha, 2012a.
- [13] SUDOP PRAHA A.S. *Projekt organizace výstavby Optimalizace trati Praha-Smíchov (mimo) – Černošice (mimo): Přílohy č. 2, 3, 4, 5*. Praha, 2012b.
- [14] SŽDC [SPRÁVA ŽELEZNIČNÍ DOPRAVNÍ CESTY, státní organizace]. *Tabulky následných mezidobí trati 171*. Praha, 2008 - 2011.

- [15] SŽDC [SPRÁVA ŽELEZNIČNÍ DOPRAVNÍ CESTY, státní organizace]. Směrnice SŽDC č. 104: Provozní intervaly a následná mezidobí. Praha, 2013a.
- [16] SŽDC [SPRÁVA ŽELEZNIČNÍ DOPRAVNÍ CESTY, státní organizace]. *Portál provozování dráhy: Mapy železniční sítě* [online]. 2013b. [cit. 2014-07-13]. Dostupné z: <http://provoz.szdc.cz/portal/ViewArticle.aspx?oid=594598>
- [17] SŽDC [SPRÁVA ŽELEZNIČNÍ DOPRAVNÍ CESTY, státní organizace]. *Sbírka služebních pomůcek pro jízdní řád 2015/2016 1. změna* [CD]. Praha, 2016.
- [18] UIC [INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS]. UIC Kodex 406 - Kapacita. 1. vydání. Paris, 2004.

Seznam obrázků:

Obr. 1, rychlostní profil trati 521 [tkm / km/h].	str. 15
Obr. 2, síťová grafika.	str. 22
Obr. 3, dopravní infrastruktura Praha-Smíchov – Praha-Radotín, staničení.	str. 36
Obr. 4, dopravní infrastruktura Beroun os.n.	str. 37
Obr. 5, dopravní infrastruktura Černošice-Mokropsy.	str. 37
Obr. 6, zobrazení modelu.	str. 38
Obr. 7, modelování předjíždění.	str. 44
Obr. 8, jízdní řád B, bez zpoždění.	str. 47
Obr. 9, jízdní řád D1, bez zpoždění.	str. 48
Obr. 10, zpoždování vlaků v Praze-Smíchově, postup B.	str. 49
Obr. 11, scénář 138, zpoždění vznikající na vjezdu do ŽST Praha-Smíchov.	str. 52
Obr. 12, histogram nárůstu zpoždění, postup B.	str. 53
Obr. 13, situace v jednokolejném úseku Praha-Radotín – Dobřichovice.	str. 55
Obr. 14, situace v jednokolejném úseku Praha-Radotín – Dobřichovice.	str. 55
Obr. 15, situace v jednokolejném úseku Praha-Radotín – Dobřichovice.	str. 55
Obr. 16, situace v jednokolejném úseku Praha-Radotín – Dobřichovice.	str. 56
Obr. 17, situace v jednokolejném úseku Praha-Radotín – Dobřichovice.	str. 56
Obr. 18, situace v jednokolejném úseku Praha-Radotín – Dobřichovice.	str. 57
Obr. 19, rizikový vzorec, postup B.	str. 58
Obr. 20, přenos zpoždění, scénář 200.	str. 59
Obr. 21, problematika nedostatečné kapacity pro zpožděné nákladní vlaky.	str. 62
Obr. 22, histogram nárůstu zpoždění, postup D.	str. 63

Seznam tabulek:

Tab. 1, počet tras vlaků v úseku.	str. 17
Tab. 2, počet tras vlaků v úseku.	str. 17
Tab. 3, počet tras vlaků v úseku.	str. 17
Tab. 4, použité hodnoty rozjezdového a brzdného zrychlení.	str. 19
Tab. 5, dynamické složky provozních intervalů následné jízdy Dobřichovice - Řevnice.	str. 20
Tab. 6, dílčí následná mezidobí Dobřichovice - Řevnice.	str. 20
Tab. 7, omezující úseky z hlediska kapacity dráhy.	str. 21
Tab. 8, počet tras realizovatelných v rámci špičkové hodiny (N_T), výsledná maximální propustnost N_{max} a srovnání s maximální propustností zjištěnou analyticky N_{maxan} .	str. 21
Tab. 9, stavební postupy stavby Černošice (včetně) – Beroun (mimo).	str. 27
Tab. 10, kapacita a nejvyšší doporučený tras rekonstruovaných úseků.	str. 28
Tab. 11, provozní intervaly.	str. 31
Tab. 12, délka výhybek po námezník	str. 36
Tab. 13, údaje o vstupním zpoždění.	str. 39
Tab. 14, použité dobu na přípravu a zabezpečení a doby na rušení a uvolnění cesty.	str. 40
Tab. 15, doba na rušení a uvolnění cesty (route).	str. 42
Tab. 16, nastavení předjíždění v simulaci.	str. 45
Tab. 17a, vstupní a výstupní zpoždění, postup B.	str. 51
Tab. 17b, nárůst zpoždění, postup B.	str. 51
Tab. 18a a b, výsledky simulací jednotlivých scénářů.	str. 54
Tab. 19a, vstupní a výstupní zpoždění, postup D.	str. 60
Tab. 19b, nárůst zpoždění, postup D.	str. 60
Tab. 20a, výsledky simulací jednotlivých scénářů.	str. 63
Tab. 20b, výsledky simulací jednotlivých scénářů.	str. 64

Seznam příloh:

Příloha č. 1, nákrešný jízdní řád L521 B
Příloha č. 2, nákrešný jízdní řád L521 D1
Příloha č. 3, nákrešný jízdní řád L521 D2