

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Faktory ovlivňující využitelnost odboček v mezistaničních úsecích
na dvukolejných tratích

Diplomová práce

2023

Bc. Petr Štembírek

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Štembírek**
Osobní číslo: **D21471**
Studijní program: **N1041A040008 Technologie a management v dopravě**
Specializace: **Technologie a řízení dopravy**
Téma práce: **Faktory ovlivňující využitelnost odboček v mezistaničních úsecích na dvoukolejných tratích**
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

Zásady pro vypracování

Úvod

1. Analýza problematiky a možností dopravního modelování
2. Model
3. Simulace a její výsledky
4. Diskuse

Závěr

Na vedení diplomové práce se spolupodílí Ing. Erik Tischer v rámci udržitelnosti projektu Spolupráce Univerzity Pardubice a aplikační sféry v aplikačně orientovaném výzkumu lokačních, detekčních a simulačních systémů pro dopravní a přepravní procesy (PosiTrans), reg. č.: CZ.02.1.01/0.0/0.0/17_049/0008394).

Rozsah pracovní zprávy: **50-60**
Rozsah grafických prací: **5-6**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

GAŠPARÍK, Jozef a Jiří KOLÁŘ. Železniční doprava: technologie, řízení, grafikony a dalších 100 zajímavostí. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0058-3.

MOLKOVÁ, Tatiana. Kapacita železničních tratí. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2010. ISBN 978-80-7395-317-1.

ČAPEK, Jan a Martin IBL. Modelování a simulace: distanční opora [CD-ROM]. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2020. ISBN 978-80-7560-332-6.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Josef Bulíček, Ph.D.**
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání diplomové práce: **2. února 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2023**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Jaromír Široký, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 2. ledna 2023

Prohlašuji:

Práci s názvem Faktory ovlivňující využitelnost odboček v mezistaničních úsecích na dvoukolejných tratích jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 12. 5. 2023

Bc. Petr Štembírek v. r

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych velice rád poděkoval vedoucímu diplomové práce, kterým byl vážený pan doc. Ing. Josef Bulíček, Ph.D., za velmi pečlivé a svědomité vedení práce, za četné rady a praktické zkušenosti, které mi ochotně předával. Rovněž bych rád poděkoval za vždy velmi rychlou zpětnou vazbu a také za zprostředkování individuálního přístupu do laboratoře s možností práce v simulačním softwaru OpenTrack.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá problematikou nově budovaných odboček v mezistaničních úsecích na dvoukolejných železničních tratích a jejich využitelnosti v provozu. Věnuje se výzkumu faktorů, které mají vliv na předjíždění vlaků s využitím odbočky a nesprávné koleje, jako např. délka mezistaničního úseku, rozdíl v rychlosti jednotlivých vlaků, vzájemné mezidobí nebo poloha odbočky uvnitř mezistaničního úseku. Klíčovým hlediskem je přínos odboček ke stabilitě jízdního řádu zejména v běžném provozu bez výluk a bez cíleného využívání odbočky (stanoveného jízdním řádem). Výzkum je proveden částečně analyticky a z větší části pak pomocí počítačové simulace provozu přes projektovanou odbočku Banín v mezistaničním úseku Březová nad Svitavou – Svitavy v programu OpenTrack. Získaná data slouží k ověření vlivu zkoumaných faktorů, a také k posouzení, zda v budoucnu plánovaná odbočka Banín bude pro tyto provozní situace prospěšná např. z pohledu stability jízdního řádu.

KLÍČOVÁ SLOVA

dvoukolejná železniční trať, model, odbočka, simulace

TITLE

Factors influencing the usability of crossovers in line sections between stations on double-tracked lines

ANNOTATION

The master thesis is focused on the issue of newly built crossovers in line sections between stations on double-tracked lines and their usability in operation. It is devoted to the research of factors that influence the overtaking of trains using a crossover and irregular track, such as the length of the line section between stations, the difference in the speed of individual trains, the mutual interval or the position of the crossover within the line section between stations. A key aspect is the benefit of crossovers to the stability of timetable, especially in regular traffic without closures and without targeted use of the crossover (determined by the timetable). The research is carried out partly analytically and, for the most part, using a computer simulation of traffic through the projected Banín crossover in the line section between stations Březová nad Svitavou and Svitavy performed by the OpenTrack software. The obtained data are used to verify the influence of the investigated factors, as well as to assess whether the future planned Banín crossover will be beneficial for these operational situations, e.g. from the point of view of timetable stability.

KEYWORDS

double-tracked railway line, model, crossover, simulation

Obsah

Seznam obrázků.....	9
Seznam tabulek.....	11
Seznam zkratk.....	13
Úvod.....	14
1 Analýza problematiky a možností dopravního modelování.....	16
1.1 Odbočky a jejich význam.....	16
1.1.1 Odbočka Cerhenice a odbočka Tatce.....	24
1.1.2 Odbočka Bezpráví.....	25
1.1.3 Odbočka Svitava.....	27
1.1.4 Odbočka Rajhrad.....	28
1.1.5 Odbočka Banín.....	29
1.1.6 Situace v zahraničí.....	31
1.2 Základní faktory a předpoklady pro využití odboček.....	35
1.3 Analýza provádění simulace.....	43
2 Model.....	46
2.1 Obecný postup modelování v programu OpenTrack.....	46
2.1.1 Infrastruktura.....	47
2.1.2 Vozidla.....	48
2.1.3 Jízdní řády.....	48
2.1.4 Provádění simulačních scénářů.....	49
2.1.5 Výstupy.....	50
2.2 Model traťového úseku Skalice nad Svitavou – Česká Třebová.....	51
2.2.1 Model odbočky Banín.....	54
3 Simulace a její výsledky.....	56
3.1 Simulace cíleného zatěžování odbočky Banín dvojicemi vlaků.....	56
3.1.1 Výpočet mezidobí pro využití odb. Banín ve směru Svitavy.....	57

3.1.2	Ověření výpočtu simulací dvojic vlaků směr Svitavy	60
3.1.3	Výpočet mezidobí pro využití odb. Banín ve směru Březová nad Svitavou	66
3.1.4	Ověření výpočtu simulací dvojic vlaků směr Březová nad Svitavou	69
3.2	Simulace provozu z GVD 2020 v úseku Skalice n. S. – Česká Třebová.....	75
3.2.1	Simulační scénář s využíváním odbočky Banín	77
3.2.2	Simulační scénář bez využívání odbočky Banín	86
3.2.3	Vzájemné porovnání scénářů.....	88
4	Diskuze	94
	Závěr	97
	Seznam použitých informačních zdrojů	98
	Seznam příloh	101

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma mezistaničního úseku s odbočkou.....	16
Obrázek 2: Schematické porovnání kolejových spojek.....	17
Obrázek 3: Grafické znázornění periody jednoduchého párového jízdního řádu	19
Obrázek 4: Schéma výluky v úseku mezi stanicí a odbočkou.....	21
Obrázek 5: Graf vlivu odbočky na teoretickou propustnost při výluce.....	22
Obrázek 6: Schematický nákres odbočky Bezpráví	26
Obrázek 7: Schéma mezistaničního úseku s odbočkou a automatickým hradlem	32
Obrázek 8: Rovnoběžný jízdní řád	37
Obrázek 9: Nerovnoběžný jízdní řád.....	37
Obrázek 10: Vliv zkracování mezidobí na polohu vzniku konfliktu	39
Obrázek 11: Délka efektivního pásma vstupu 2. vlaku.....	40
Obrázek 12: Vliv délky mezistaničního úseku a rychlosti 2. vlaku na využitelnost odbočky	41
Obrázek 13: Model železniční stanice Letovice.....	47
Obrázek 14: Ukázka nákresného jízdního řádu v programu OpenTrack	49
Obrázek 15: Dráhový tachogram dvojice vlaků.....	51
Obrázek 16: Model žst. Česká Třebová a přilehlých úseků	52
Obrázek 17: Model traťového úseku Skalice nad Svitavou – Česká Třebová	53
Obrázek 18: Model odbočky Banín.....	54
Obrázek 19: Poloha odbočky Banín v úseku mezi zastávkami.....	54
Obrázek 20: Statický rychlostní profil v úseku Březová nad Svitavou – Svitavy.....	55
Obrázek 21: Délka efektivního pásma vstupu 2. vlaku dle rychlosti 1. vlaku směr Svitavy ..	60
Obrázek 22: Závislost jízdní doby a Δ zpoždění Ex na mezidobí a volbě traťové koleje.....	61
Obrázek 23: Přírůstek zpoždění v závislosti na rychlosti, mezidobí a volbě traťové koleje...	64
Obrázek 24: Délka efektivního pásma vstupu 2. vlaku dle rychlosti 1. vlaku směr Březová ..	68
Obrázek 25: Graf porovnání délky efektivního pásma vstupu 2. vlaku pro jednotlivé směry	69
Obrázek 26: Závislost jízdní doby a Δ zpoždění Ex na mezidobí a volbě traťové koleje.....	70
Obrázek 27: Přírůstek zpoždění v závislosti na rychlosti, mezidobí a volbě traťové koleje...	73
Obrázek 28: Nákrešný jízdní řád modelovaného osmihodinového úseku GVD 2020.....	76
Obrázek 29: Četnost využití nesprávné koleje z odbočky do přední stanice	78
Obrázek 30: Histogram mezidobí dvojic vlaků směr Březová nad Svitavou.....	79
Obrázek 31: Histogram mezidobí dvojic vlaků směr Svitavy.....	80
Obrázek 32: Rozbor četnosti zastoupení kategorií vlaků na 1. a 2. vlaku.....	81

Obrázek 33: Grafické znázornění předjíždění vlaků Os 4776 a Ex 276 využitím odb. Banín	82
Obrázek 34: Průměrné přírůstky zpoždění všech vlaků – scénář s odbočkou	84
Obrázek 35: Průměrné Δ zpoždění 29 sledovaných vlaků – scénář s odbočkou	85
Obrázek 36: Průměrné přírůstky zpoždění všech vlaků – scénář bez odbočky	87
Obrázek 37: Průměrné Δ zpoždění 29 sledovaných vlaků – scénář bez odbočky	88
Obrázek 38: Porovnání průměrných přírůstků zpoždění v obou scénářích.....	89
Obrázek 39: Průměrné Δ zpoždění všech vlaků obou scénářů ve 100 replikacích	90
Obrázek 40: Porovnání průměrných přírůstků zpoždění 29 sledovaných vlaků.....	90
Obrázek 41: Rozdíl průměrných přírůstků zpoždění 29 sledovaných vlaků.....	91

Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry odboček Cerhenice a Tatce	25
Tabulka 2: Parametry odbočky Bezprávi	26
Tabulka 3: Parametry odbočky Svitava.....	28
Tabulka 4: Parametry odbočky Rajhrad	29
Tabulka 5: Parametry odbočky Banín	30
Tabulka 6: Parametry mezistaničního úseku Březová nad Svitavou – Svitavy	30
Tabulka 7: Seznam odboček na trati Bratislava–Žilina.....	32
Tabulka 8: Rámec řešení problematiky odboček v diplomové práci	35
Tabulka 9: Popis rozhodování algoritmu v analytickém výpočtu	58
Tabulka 10: Výpočet mezidobí pro typovou dvojici Os × Ex směr Svitavy.....	58
Tabulka 11: Závislost délky intervalu mezidobí na rychlosti 1. vlaku směr Svitavy.....	59
Tabulka 12: Výsledky simulace sledu Os a Ex směr Svitavy	61
Tabulka 13: Korekce výsledků simulace sledu Os a Ex směr Svitavy.....	62
Tabulka 14: Porovnání výsledků mezidobí v jednotlivých metodách.....	63
Tabulka 15: Výsledky simulace sledu pomalého 1. vlaku a Ex směr Svitavy	64
Tabulka 16: Korekce výsledků simulace sledu pomalého 1. vlaku a Ex směr Svitavy	65
Tabulka 17: Porovnání výsledků mezidobí v jednotlivých metodách.....	66
Tabulka 18: Výpočet mezidobí pro typovou dvojici Os × Ex směr Březová n. S.	66
Tabulka 19: Závislost délky mezidobí na rychlosti 1. vlaku směr Březová n. S.	67
Tabulka 20: Porovnání délky efektivního pásma vstupu 2. vlaku pro oba směry.....	68
Tabulka 21: Výsledky simulace sledu Os a Ex směr Březová n. S.	70
Tabulka 22: Korekce výsledků simulace sledu Os a Ex směr Březová n. S.	71
Tabulka 23: Porovnání výsledků mezidobí v jednotlivých metodách.....	72
Tabulka 24: Výsledky simulace sledu pomalého 1. vlaku a Ex směr Březová n. S.....	73
Tabulka 25: Korekce výsledků simulace sledu pomalého 1. vlaku a Ex směr Březová n. S.	74
Tabulka 26: Porovnání výsledků mezidobí v jednotlivých metodách.....	75
Tabulka 27: Průměr a medián mezidobí podle kategorie 1. vlaku směr Březová n. S.....	80
Tabulka 28: Průměr a medián mezidobí podle kategorie 1. vlaku směr Svitavy	80
Tabulka 29: Počty uskutečněných předjíždění mezi odbočkou a přední stanicí.....	83
Tabulka 30: Průměrné přírůstky zpoždění ve 100 replikacích ve scénáři s odbočkou	83
Tabulka 31: Průměrný přírůstek zpoždění u 140 případů – scénář s odbočkou.....	85
Tabulka 32: Průměrné přírůstky zpoždění ve 100 replikacích ve scénáři bez odbočky	86

Tabulka 33: Průměrný přírůstek zpoždění u 140 případů – scénář bez odbočky.....	88
Tabulka 34: Porovnání průměrných přírůstků zpoždění v obou scénářích	89
Tabulka 35: Porovnání výsledků 140 případů efektivního předjíždění po nesprávné koleji ..	92
Tabulka 36: Souhrnné výsledky hodnotící přínos odbočky Banín.....	93

Seznam zkratek

AB – automatický blok

AH – automatické hradlo

API – Application Programming Interface (rozhraní pro programování aplikací)

CDP – centrální dispečerské pracoviště

CMK – Centralna Magistrala Kolejowa (název centrální železniční magistrály v Polsku)

Ex – expres (kategorie vlaku)

Mn – manipulační vlak (kategorie vlaku)

Nex – nákladní expres (kategorie vlaku)

NJŘ – nákrešný jízdní řád

Os – osobní vlak (kategorie vlaku)

PMD – posun mezi dopravami

Pn – průběžný nákladní vlak (kategorie vlaku)

PPV – pracoviště pohotovostního výpravčího

R – rychlík (kategorie vlaku)

Sp – spěšný vlak (kategorie vlaku)

TTP – tabulky traťových poměrů

VRT – vysokorychlostní trať

Úvod

Železniční doprava se stále častěji potýká s aktuálními problémy s technickým stavem infrastruktury, rozsáhlými výlukami s mnohdy velmi špatnou vzájemnou koordinací při souběhu více etap najednou a s tím spojenou omezenou kapacitou dopravní cesty. V reakci na stále se zvyšující přepravní poptávku, požadavky na stabilitu provozu a na celkovou minimalizaci negativních dopadů výluk a mimořádností na osobní i nákladní dopravu, se do popředí české železnice a její koridorové sítě dostává infrastrukturní prvek – odbočka, která má potenciál zabezpečit dostatečnou úroveň kapacity a plynulost železniční dopravy i při náročných výlukách traťových kolejí v mnohdy kritických úsecích dvoukolejných železničních tratí.

Zatímco v minulosti vznikaly odbočky spíše jako dočasné řešení po dobu konání výluk, od roku 2020 vzniklo hned několik nových trvalých odboček na koridorových tratích a v nadcházejících letech bude tento trend pokračovat. Ačkoliv jsou nové odbočky zřizovány především za účelem zvýšení kapacity a zlepšení plynulosti provozu při výlukách a mimořádnostech, jejich další přínos v podobě možnosti pružnějšího a efektivnějšího řešení konfliktů např. mezi vlaky jedoucími ve sledu prostřednictvím předjíždění po nesprávné koleji není až tak často zmiňován. Právě proto bylo téma odboček a jejich využitelnosti při běžném provozu pro předjíždění zvoleno pro hlubší výzkum v rámci této diplomové práce.

Diplomová práce je rozčleněna do čtyř hlavních kapitol. První kapitola slouží k uvedení čtenáře do problematiky nových odboček v podobě kolejových spojek mezi traťovými kolejemi a jejich posouzením z pohledu ukazatelů propustnosti při výlukách. Následně jsou definovány základní parametry mezistaničních úseků, které jsou předpokladem pro zřízení odbočky. Tyto parametry jsou podloženy konkrétními příklady nových odboček na 1. tranzitním koridoru (Německo–Děčín–Břeclav–Slovensko) a doplněny o přehled některých zástupců ze zahraničí. Ve zbývajících částech kapitoly je věnována pozornost základním faktorům a předpokladům ovlivňujících využití odboček v reálném provozu, na což navazuje analýza možností dopravního modelování, na jejímž základě je následně provedena výzkumná část diplomové práce.

Ve druhé kapitole je představen autorem vytvořený model železniční trati mezi stanicemi Skalice nad Svitavou a Česká Třebová v simulačním programu OpenTrack, který byl vytvořen za účelem simulačního ověření zjištěných faktorů a předpokladů pomocí výzkumu využitelnosti projektované odbočky Banín v úseku Březová nad Svitavou – Svitavy pro předjíždění vlaků.

Třetí kapitola je věnována samotným simulačním experimentům na modelované trati v programu OpenTrack, pomocí nichž je prakticky prověřena využitelnost a prospěšnost posuzované odbočky v různých provozních situacích. Simulace je podpořena analytickým výpočtem v tabulkovém procesoru Microsoft Excel. Výsledky jednotlivých simulačních experimentů umožňují získat komplexní přehled o situacích, ve kterých je odbočka přínosným řešením, a jaké dopady může mít její využití pro řešení konfliktů mezi jednotlivými vlaky.

Čtvrtá kapitola slouží k diskuzi některých získaných poznatků a výsledků ze zkoumané problematiky odboček. Kapitola má za cíl vytvořit ucelený pohled na provedený výzkum.

V závěru práce je provedeno celkové zhodnocení výzkumu odboček, shrnuty dosažené výsledky a posouzena prospěšnost odbočky Banín z hlediska přínosu ke stabilitě jízdního řádu.

Cílem práce je výzkum faktorů ovlivňujících využitelnost odboček pro předjíždění vlaků a jejich simulační ověření pomocí modelu projektované odbočky Banín v mezistaničním úseku Březová nad Svitavou – Svitavy v programu OpenTrack. Cílem výzkumu je také celkové posouzení prospěšnosti odbočky Banín z hlediska přínosu ke stabilitě jízdního řádu.

1 Analýza problematiky a možností dopravního modelování

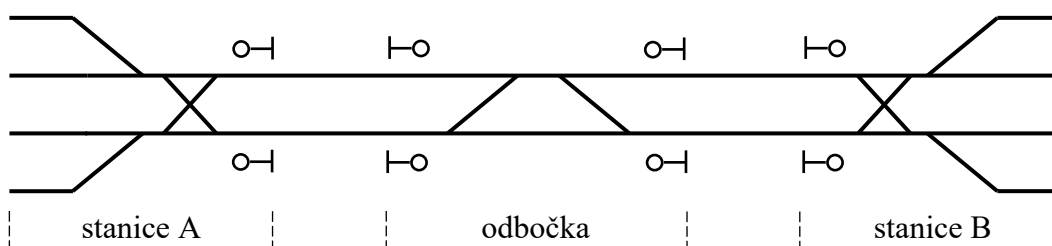
První kapitola je zaměřena na analýzu problematiky nových odboček na dvoukolejných tratích. Jsou zde definovány základní parametry mezistaničních úseků, ve kterých mohou odbočky nacházet využití, včetně přehledu nově zřízených odboček na 1. tranzitním koridoru. K již vybudovaným odbočkám je popsána v budoucnu plánovaná odbočka Banín, která bude předmětem výzkumné části práce v rámci simulačního modelu. Přehled odboček je doplněn o příklady ze zahraničí s poukázáním na rozdílné řešení v porovnání s českými odbočkami. Následující části kapitoly se věnují problematice dopravního modelování a základním faktorům a předpokladům pro využití odboček, které budou využity v praktické části práce. Nejedná se tedy pouze o analýzu informačních zdrojů, ale spíše o nastolení určitého přístupu k řešení specifické problematiky odboček, včetně odvození některých analytických posouzení.

1.1 Odbočky a jejich význam

Na úvod je třeba definovat pojem odbočka, čím se vyznačuje a jaký je její význam. Definice odbočky se s novelizací předpisu SŽ D1 část první (Dopravní a návěstní předpis pro trať nevybavené evropským vlakovým zabezpečovačem) s platností od 1. 7. 2022 částečně změnila. Odbočka je definována jako dopravní s kolejovým rozvětvením bez staničních kolejí, která umožňuje přechod vlaků (PMD):

- z jedné trati na druhou bez přerušení jízdy,
- z jedné traťové koleje na jinou traťovou kolej téže trati bez přerušení jízdy,
- z trati s automatickým blokem na vlečku nebo nákladíště,
- z vlečky nebo nákladíště na trať s automatickým blokem (1).

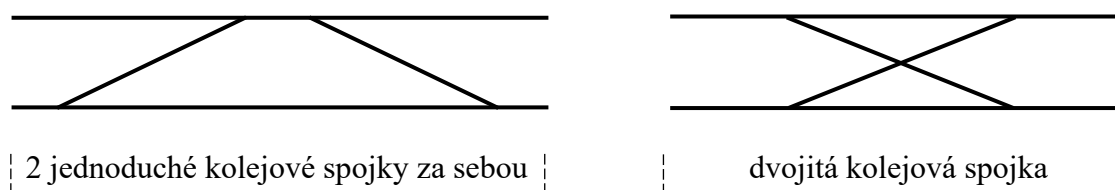
Odbočky jsou buď stálé, nebo mohou být podle výlukového rozkazu zřízeny i dočasné. Každá odbočka je vybavena vjezdovými návěstidly, na některých odbočkách se nacházejí také odjezdová návěstidla (např. odbočka Bezpráví). Pro potřeby této diplomové práce je důležitá jen podmnožina odboček, které umožňují přechod vlaků (PMD v diplomové práci není uvažován) z jedné traťové koleje na druhou traťovou kolej téže dvoukolejné trati bez přerušení jízdy. Možnou podobu takové odbočky, splňující požadovanou funkci, znázorňuje obrázek 1 (2).



Obrázek 1: Schéma mezistaničního úseku s odbočkou

Zdroj: Autor

Původní předpis SŽDC D1 (Dopravní a návěstní předpis) ve své definici odbočky mimo jiné zahrnoval skutečnost, že odbočkou mohou být i kolejové spojky, které umožňují na dvou a více kolejných tratích přechod vlaků z jedné traťové koleje na druhou. Pro spojení dvojice přímých rovnoběžných kolejí lze využít buď jednoduchou kolejovou spojku, nebo dvojitou kolejovou spojku. Jednoduchá kolejová spojka je tvořena dvěma jednoduchými výhybkami, a to buď levými, nebo pravými. Pakliže je tvořena levými výhybkami, je spojka nazývána jako levá, analogicky spojka tvořená pravými výhybkami je nazývána jako pravá. Pokud je to z prostorových důvodů možné, nové odbočky se realizují v podobě dvou jednoduchých kolejových spojek (levé a pravé) umístěných za sebou. V úsecích s nedostatečnou délkou přímých kolejí, kde není možné vložit dvě jednoduché kolejové spojky za sebe (mnohdy např. staniční zhlaví s navazujícím vedením tratě do oblouku), lze použít dvojitou kolejovou spojku. Ta vzniká sloučením dvou jednoduchých kolejových spojek do jedné. Střední část této spojky je tvořena kolejovou křížovatkou. Z důvodu rychlostních omezení a technické náročnosti jsou dvojitě kolejové spojky méně časté, a pokud je to možné, jsou nahrazovány právě dvojicí jednoduchých kolejových spojek řazených za sebou. Porovnání těchto typů kolejových spojek znázorňuje obrázek 2 (3).



Obrázek 2: Schematické porovnání kolejových spojek

Zdroj: Autor

Nově budované odbočky na dvoukolejných tratích v mezistaničních úsecích jsou obvykle složeny ze dvou jednoduchých kolejových spojek za sebou mezi traťovými kolejemi, a z vjezdových, příp. i odjezdových návěstidel. Ve zbývajících částech této práce proto bude pozornost věnována právě nově vybudovaným nebo plánovaným odbočkám v této podobě s jednoduchými kolejovými spojkami. Odbočky s použitím dvojitých kolejových spojek s ohledem na jejich zmenšující se význam a prioritu nebudou uvažovány. Z hlediska prováděného výzkumu není rozhodující, o jaký konstrukční typ kolejové spojky se jedná, neboť i s ohledem na odlišnost v některých provozních parametrech odpověď na otázku, zda je zřízení odbočky užitečné, ovlivní jen minimálně. Důležitá je zejména skutečnost, zda odbočka umožňuje přechod vlaků mezi traťovými kolejemi v obou směrech, nebo jen v jednom, tj. jak ze správné koleje na nesprávnou kolej, tak také z nesprávné koleje na správnou kolej.

Základní funkcí nových odboček je zejména zvýšení kapacity mezistaničního úseku a zajištění větší plynulosti provozu během rozsáhlých výlukových prací. Je-li v rámci rekonstrukce daného mezistaničního úseku trati zapotřebí vyloučit jednu z traťových kolejí, železniční provoz tak musí být v obou směrech uskutečňován pouze po jedné traťové koleji ze dvou v celé délce mezistaničního úseku. Následkem výluky jedné traťové koleje v celém mezistaničním úseku je markantní snížení kapacity odbočkou nerozděleného úseku spojené s komplikacemi v osobní i nákladní dopravě. Snížení kapacity, které může být i více než o polovinu, lze odvodit pomocí základních vzorců pro výpočet propustnosti. Je-li na dvokolejně trati uskutečňován provoz jedním směrem po jedné traťové koleji a opačným směrem po druhé traťové koleji, lze pro každý směr vyjádřit vztah (1.1) pro výpočet teoretické propustnosti (4):

$$N_{max\ S} = \frac{T}{M_S} \text{ [vlaků]} \quad (1.1)$$

kde: $N_{max\ S}$ – teoretická propustnost traťové koleje v daném směru S [vlaků],

T – výpočetní období [min],

M_S – rozhodné následné mezidobí pro daný směr S [min].

Pokud bude pro oba směry uvažováno stejné následné mezidobí M , lze vztah pro maximální propustnost dvokolejné trati vyjádřit součtem vlaků v obou směrech, viz (1.2):

$$N_{max} = \frac{T}{M} + \frac{T}{M} = \frac{2 \cdot T}{M} \text{ [vlaků]} \quad (1.2)$$

kde: N_{max} – teoretická propustnost dvokolejné trati [vlaků],

T – výpočetní období [min],

M – rozhodné následné mezidobí [min].

Jestliže je vyloučena jedna z traťových kolejí, provoz musí být uskutečňován v obou směrech pouze po jedné koleji. V tomto případě je nutno pro výpočet propustnosti aplikovat vztah (1.3) využívající periodu jízdního řádu s ohledem na způsob provázení vlaků (4):

$$N_{max} = \frac{T \cdot k}{T_{per}} \text{ [vlaků]} \quad (1.3)$$

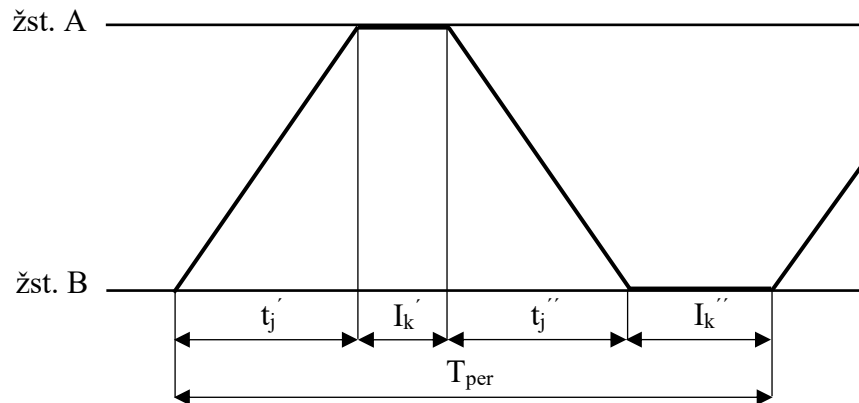
kde: N_{max} – teoretická propustnost mezistaničního úseku v obou směrech [vlaků],

T – výpočetní období [min],

k – počet vlaků v jedné periodě jízdního řádu [vlaků],

T_{per} – doba jedné periody jízdního řádu [min].

Perioda jízdního řádu T_{per} vyjadřuje sled provázení vlaků, díky čemuž je možné určit dobu obsazení s ohledem na správnou kombinaci jednotlivých provozních intervalů vyplývajících z daného sledu. Perioda jízdního řádu T_{per} tak vyjadřuje nejkratší dobu obsazení úseku trati seskupením vlaků, které je typické pro daný typ jízdního řádu. Obsazení tímto seskupením se periodicky opakuje. Nejjednodušší vyjádření skladby T_{per} lze demonstrovat na příkladu jednokolejného jednoduchého párového jízdního řádu, který je schematicky znázorněn na obrázku 3.



Obrázek 3: Grafické znázornění periody jednoduchého párového jízdního řádu

Zdroj: Autor na podkladě (5)

S využitím obrázku 3 lze matematicky vyjádřit skladbu doby periody jednokolejného jednoduchého párového jízdního řádu T_{per} pomocí vztahu (1.4):

$$T_{per} = t_j' + I_k' + t_j'' + I_k'' \text{ [min]} \quad (1.4)$$

kde: T_{per} – doba jedné periody jízdního řádu [min],

t_j' – doba jízdy z žst. B do žst. A [min],

I_k' – provozní interval křižování v žst. A [min],

t_j'' – doba jízdy z žst. A do žst. B [min],

I_k'' – provozní interval křižování v žst. B [min].

Tento vztah lze považovat za nejjednodušší vyjádření periody jízdního řádu, které je nutno v případě složitějších jízdních řádů (skupinové párové, párové svazkové, párové částečně svazkové, příp. obdobné typy nepárových jízdních řádů atd.) doplnit o další proměnné, resp. koeficienty (následná mezidobí, intervaly následné jízdy, jízdní doby apod.). Nicméně pro základní vysvětlení podstaty periody jízdního řádu lze z tohoto vztahu vycházet.

Další úvahy nad poklesem kapacity vlivem výluky jedné z traťových kolejí budou uvažovat krajní případ, kdy nedochází ke svazkování vlaků, tudíž je provoz veden střídavě vždy po jednom vlaku v každém směru. Vztah pro výpočet maximální propustnosti lze teoreticky upravit takto (1.5):

$$N_{max'} = \frac{T \cdot k}{T_{per}} = \frac{T \cdot k}{k \cdot (b + I_k)} = \frac{T \cdot 1}{1 \cdot (b + I_k)} = \frac{T}{b + I_k} \text{ [vlaků]} \quad (1.5)$$

kde: $N_{max'}$ – teoretická propustnost mezistaničního úseku bez svazkování [vlaků],

T – výpočetní období [min],

k – počet vlaků v jedné periodě jízdního řádu [vlaků],

T_{per} – doba jedné periody jízdního řádu [min],

b – doba obsazení mezistaničního úseku jedním vlakem [min],

I_k – provozní interval křižování [min].

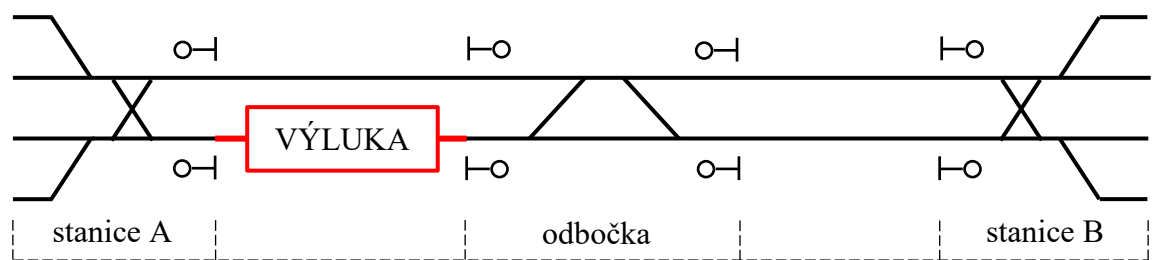
Ve jmenovateli byla doba jedné periody jízdního řádu T_{per} nahrazena k-násobkem součtu $(b + I_k)$. Vztah uvažuje modelovou situaci, kdy doba obsazení b je totožná pro všechny vlaky v obou směrech, stejně tak provozní interval křižování I_k je totožný pro obě krajní stanice. Jedná se tedy o krajní případ střídavého provozu rovnocenných vlaků po jedné traťové koleji bez svazkování, kde je pro zjednodušení uvažován shodný provozní interval křižování v obou krajních stanicích.

Poměrem vztahů (1.2) a (1.5) pro maximální propustnost dvoukolejné trati a pro krajní případ střídavého provozu po jedné ze dvou traťových kolejí lze získat (1.6):

$$\frac{N_{max'}}{N_{max}} = \frac{T}{\frac{2 \cdot T}{M}} = \frac{T \cdot M}{(b + I_k) \cdot 2 \cdot T} = \frac{M}{2 \cdot (b + I_k)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{M}{(b + I_k)} \text{ [-]} \quad (1.6)$$

Tímto poměrem lze dokázat snížení propustnosti minimálně na polovinu za daných zjednodušených podmínek. Bude-li pro zjednodušení předpokládáno, že provozní interval následné jízdy (tj. složka následného mezidobí M) je menší nebo roven provoznímu intervalu křižování I_k , lze následné mezidobí M považovat za menší nebo rovno součtu doby obsazení mezistaničního úseku b a provozního intervalu křižování I_k . Při jízdě v mezistaničním oddílu bude následné mezidobí M přibližně rovno $(b + I_k)$, tzn. poměr propustností bude přibližně roven jedné polovině. V případě jízdy v traťových oddílech naopak hodnota následného mezidobí M klesá oproti součtu $(b + I_k)$, tudíž poměr propustností bude menší než jedna polovina, tzn. propustnost vlivem výluky bude více než dvakrát menší.

Situaci lze řešit opatřeními jako: redukce spojů osobní dopravy, spojování vlaků, náhradní autobusová doprava, odklony aj. Tato opatření jsou ovšem využitelná pouze v omezeném rozsahu a délce trvání. Zejména na koridorových tratích s četnou osobní dopravou (dálkovou i regionální, resp. příměstskou) a také silnou nákladní dopravou je třeba přistoupit k stavebně-technickým opatřením, která povedou k zajištění přijatelné úrovně kapacity během rozsáhlých výluk. Právě takovým stavebně-technickým opatřením může být vybudování nové odbočky, která mezistaniční úsek rozdělí na dvě části a umožní vyloučit vždy jen jednu traťovou kolej v polovině úseku a zachovat dvoukolejný provoz na druhé polovině úseku. Příklad výluky traťové koleje v jednom z úseků mezi stanicí a odbočkou schematicky znázorňuje obrázek 4.



Obrázek 4: Schéma výluky v úseku mezi stanicí a odbočkou

Zdroj: Autor

Kapacitní přínos odbočky při výluce lze vysvětlit částečnou úpravou vztahu (1.5). Pro názornost bude poloha odbočky určena do poloviny mezistaničního úseku. Bude opět uvažován krajní případ střídavého provozu vlaků v obou směrech bez svazkování přes jednokolejný úsek mezi stanicí a odbočkou, kde provozní interval křižování je stejný v obou krajních stanicích i na odbočce. Jestliže doba obsazení celého mezistaničního úseku je b , potom díky umístění odbočky přesně do poloviny úseku lze v rámci zjednodušujících předpokladů dobu obsazení prostorového oddílu mezi stanicí a odbočkou uvažovat za rovnu polovině doby obsazení b , tedy $b/2$. Teoretickou propustnost výlukou dotčeného mezistaničního úseku s odbočkou lze pro tento modelový případ vyjádřit vztahem (1.7):

$$N' = \frac{T}{\frac{b}{2} + I_k} \text{ [vlaků]} \quad (1.7)$$

kde: N' – teoretická propustnost při výluce traťové koleje mezi stanicí a odbočkou [vlaků],

T – výpočetní období [min],

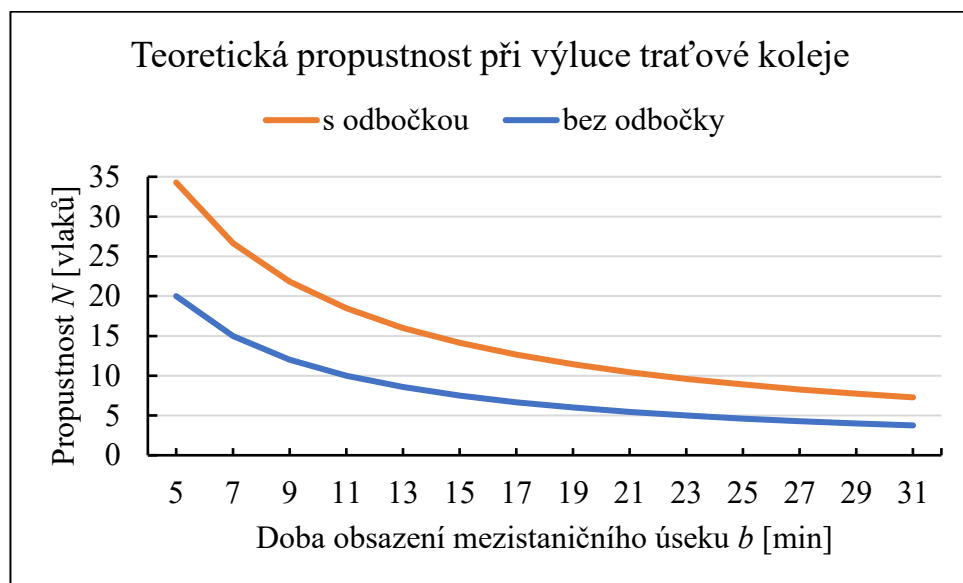
$b/2$ – doba obsazení prostorového oddílu mezi stanicí a odbočkou [min],

I_k – provozní interval křižování [min].

Poměrem vztahů (1.5) a (1.7) lze vyjádřit pozitivní vliv odbočky na propustnost dvoukolejného mezistaničního úseku při výluce jedné traťové koleje v porovnání se stavem bez odbočky, kdy je nutné vyloučit traťovou kolej v celém mezistaničním úseku namísto jeho poloviny. Poměr propustností N' a $N_{max'}$ je matematicky vyjádřen vztahem (1.8), z kterého je patrné, že propustnost N' je vždy větší než $N_{max'}$, přičemž hodnota jejich podílu se s rostoucí dobou obsazení b limitně blíží k 2, tedy ke dvojnásobné hodnotě propustnosti.

$$\frac{N'}{N_{max'}} = \frac{\frac{T}{\frac{b}{2} + I_k}}{\frac{T}{b + I_k}} = \frac{T \cdot (b + I_k)}{T \cdot (\frac{b}{2} + I_k)} = \frac{b + I_k}{\frac{b}{2} + I_k} > 1 \quad (1.8)$$

Pro lepší přehlednost lze vliv odbočky na propustnost při výluce znázornit pomocí grafu, viz obrázek 5. Graf zobrazuje vliv doby obsazení celého mezistaničního úseku na hodnotu teoretické propustnosti při výpočetním období 120 minut a intervalu křižování 1 minuta a porovnává variantu s odbočkou v polovině mezistaničního úseku a bez odbočky.



Obrázek 5: Graf vlivu odbočky na teoretickou propustnost při výluce

Zdroj: Autor

Nové odbočky na dvoukolejných tratích mají kromě pozitivního vlivu na výlukový provoz také praktické využití při řešení konfliktních situací při běžném provozu. Takovým využitím může být např. možnost předjíždění pomalých a rychlých, resp. zastávkových a projíždějících vlaků jedoucích ve sledu. Využitelnost odbočky pro tyto situace úzce souvisí s jejím umístěním vzhledem k mezistaničnímu úseku a zejména s technickými a provozními parametry mezistaničního úseku. Opodstatnění nachází odbočky zejména v dlouhých mezistaničních

úsecích, kde vznikají konflikty mezi pomalými a rychlými vlaky ve sledu. Rozdíl rychlostí, resp. rozdílná doba obsazení mezistaničního úseku má např. tyto důvody, resp. jejich kombinaci:

- rozdílné kategorie vlaků (např. Ex–Os, R–Pn, Nex–Mn),
- vliv sklonových a směrových poměrů v mezistaničním úseku,
- obsluha mezilehlých zastávek spojená s rozjížděním, brzděním a pobyty v zastávkách,
- nižší konstrukční rychlost vozidel, než je rychlost traťová,
- nižší stanovená rychlost vlaku (např. vlivem nedostatku brzdících procent),
- snížení rychlosti vlaku vlivem zařazení mimořádné zásilky.

Jestliže vlivem působení těchto faktorů dojde k dojetí pomalého vlaku rychlým, může právě odbočka umožnit jejich předjetí využitím jízdy jednoho z dvojice vlaků proti správnému směru. S tím souvisí potřeba obousměrného traťového zabezpečovacího zařízení (nejčastěji obousměrný automatický blok, příp. automatické hradlo), které změnou směru traťového souhlasu umožní jízdu proti správnému směru bez nutnosti zavádět dopravní opatření. Absencí obousměrného traťového zabezpečovacího zařízení by se totiž jednalo o jízdu po nesprávné koleji, pro kterou je nutné zavést dopravní opatření, jako např. zpravení vlaků rozkazem Z, zavedení telefonického dorozumívání apod. V takovém případě by však využití odbočky postrádalo smysl, neboť veškerá časová úspora vlivem jízdy po nesprávné koleji zpravidla zaniká z důvodu potřeby zastavení vlaku pro zpravení rozkazem a následným rozjezdem. Pouze v případě velmi dlouhých mezistaničních úseků je možné předpokládat, že zastavení z těchto důvodů může být i tak časově výhodnější než jízda ve sledu za pomalým vlakem.

Z uvedených informací vyplývá, že budovat nové odbočky má smysl zejména v dlouhých mezistaničních úsecích, které jsou dále charakterizovány:

- variabilitou provozu (rozpětí rychlostí jednotlivých vlaků),
- umístěním jedné nebo více mezilehlých zastávek,
- obousměrným traťovým zabezpečovacím zařízením s oddílovými návěstidly,
- sklonovými a směrovými parametry, které ovlivňují dynamiku jízdy vlaků,
- vysokou intenzitou provozu.

V následující části budou blíže popsány konkrétní příklady nově vybudovaných odboček na 1. tranzitním koridoru, které pomohou výše zmíněné charakteristiky vysvětlit v praxi. Budování nových odboček na 1. tranzitním koridoru se stalo velmi aktuální přibližně od roku 2020 během rozsáhlých výlukových prací, kdy vznikaly např. v rámci dotačního programu Blending Call. Pro

zajištění komplexního pohledu na problematiku budou po seznámení s českými odbočkami uvedeny také některé příklady ze zahraničí.

1.1.1 Odbočka Cerhenice a odbočka Tatce

Na trati č. 011 mezi stanicemi Kolín a Praha vznikly v roce 2021 v rámci modernizace traťového úseku Poříčany–Velim dvě nové odbočky, umožňující přejíždění vlaků z jedné traťové koleje na druhou. Stavební práce byly zahájeny v červnu 2020 s předpokládaným ukončením do konce roku 2023. Nová odbočka Cerhenice byla uvedena do provozu dne 31. 8. 2021, následovala odbočka Tatce s aktivací dne 21. 10. 2021. Obě odbočky tak byly využity během rozsáhlých výluk v tomto úseku a napomohly zlepšení organizace silného provozu přes kritická místa. Odbočka Cerhenice se nachází v mezistaničním úseku Velim–Pečky, odbočka Tatce v mezistaničním úseku Pečky–Poříčany. Obě odbočky jsou tvořeny dvěma kolejovými spojkami tvořenými čtyřmi jednoduchými výhybkami, jsou ohraničeny vjezdovými návěstidly a odjezdová návěstidla nejsou zřízena. Pro obě odbočky platí stejné parametry pro rychlost jízdy přes výhybky, a to rychlostí $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ v odbočném směru, v přímém směru pak traťovou rychlostí $160 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Délka každé z odboček mezi vjezdovými návěstidly činí 760 m. V přilehlých traťových úsecích obou odboček je zřízeno obousměrné traťové zabezpečovací zařízení typu automatický blok AB-88A. Odbočky jsou dálkově ovládány z CDP Praha, případně z pracoviště pohotovostního výpravčího (dále PPV) v žst. Poříčany a Kolín (6).

Úlohou odboček je zmírnění negativních dopadů výlukových činností na provoz ve vytíženém úseku, ale také snížení vlivů mimořádností na pravidelnost dopravy umožněním přejíždění z jedné traťové koleje na druhou např. za účelem předjíždění pomalých a rychlých vlaků. Odbočka Cerhenice je umístěna v km 359,840 mezi zastávkou Cerhenice a žst. Pečky, přičemž mezistaniční úsek Velim–Pečky o délce 7 km rozdělila přibližně na polovinu. Odbočka Tatce se nachází v km 366,825 mezi zastávkou Tatce a žst. Poříčany přibližně v polovině mezistaničního úseku Pečky–Poříčany o délce 8 km. Porovnáním jízdních dob osobních vlaků v obou mezistaničních úsecích s vlaky dálkové dopravy lze pozorovat dvojnásobnou jízdní dobu u vlaků zastavujících v obou krajních stanicích a na mezilehlé zastávce (cca 7 min), v porovnání s projíždějícími expresními vlaky (cca 3,5 min). Lze tak usuzovat, že využití odbočky pro předjíždění např. těchto dvojic vlaků může přinášet pozitivní dopady na kvalitu a stabilitu provozu. Obě odbočky se nachází v traťových úsecích, které patří mezi nejvytíženější v České republice s denním počtem cca 360 vlaků (souhrnný údaj za oba směry, odpovídá 9. decilu z denních počtů vlaků v období od 1. 1. 2020 do 15. 3. 2020). Pro zajímavost nejvyšší denní počet

vlaků náleží úseku mezi žst. Český Brod a žst. Praha-Běchovice s hodnotou 450, který je ale tříkolejný. Shrnutí základních parametrů odbočky Cerhenice a Tatce zobrazuje tabulka 1 (8), (9).

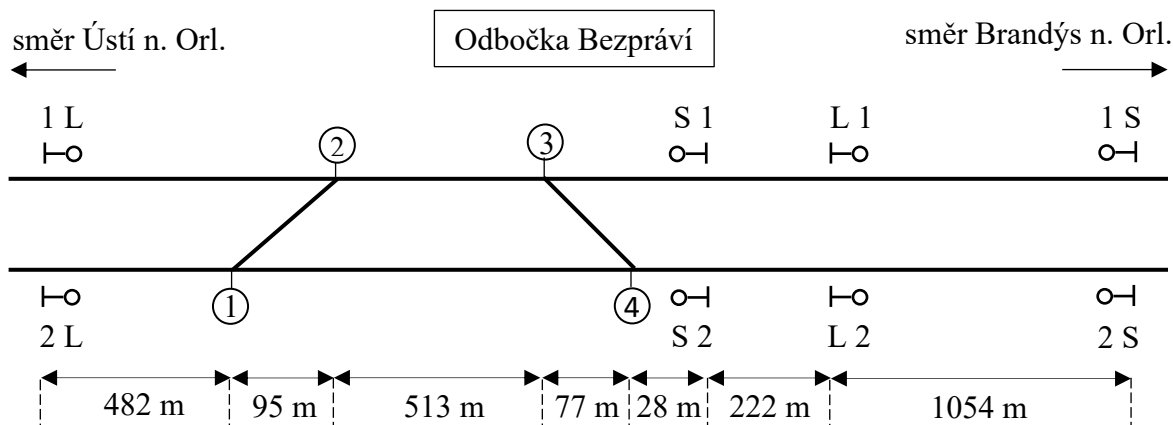
Tabulka 1: Parametry odboček Cerhenice a Tatce

	Odb. Cerhenice	Odb. Tatce
Mezistaniční úsek	Velím–Pečky	Pečky–Poříčany
Délka mezistaničního úseku	7 km	8 km
Rychlost do odbočného směru	80 km·h ⁻¹	80 km·h ⁻¹
Traťová rychlost	160 km·h ⁻¹	160 km·h ⁻¹
Délka dopravní	760 m	760 m
Odjezdová návěstidla	Ne	Ne
Traťové zabezpečovací zařízení	AB-88A	AB-88A
Průměrný počet vlaků za den	360	355

Zdroj: Autor na podkladě (7), (9)

1.1.2 Odbočka Bezprávi

Odbočka Bezprávi se nachází na trati č. 010 spojující Českou Třebovou a Kolín v mezistaničním úseku Ústí nad Orlicí – Brandýs nad Orlicí. Zřízení odbočky Bezprávi bylo provedeno v rámci rekonstrukce tohoto traťového úseku včetně modernizace stanice Brandýs nad Orlicí. Stavební práce v úseku byly zahájeny dne 4. 5. 2021, nová odbočka byla uvedena do provozu dne 17. 10. 2021 a následně plnila svou funkci během rozsáhlých výluk až do poloviny roku 2023. Odbočka Bezprávi je na 1. koridoru určitým unikátem, neboť v porovnání s odbočkami Tatce, Cerhenice, Svitava nebo Rajhrad je kromě vjezdových návěstidel vybavena také odjezdovými návěstidly. Na odbočce se opět nachází dvě kolejové spojky tvořené čtyřmi jednoduchými výhybkami, avšak spojky nejsou řazeny v těsné blízkosti, nýbrž ve vzdálenosti cca 500 metrů od sebe. Celková délka této dopravní (vzdálenost mezi vjezdovými návěstidly) činí 2,47 km (pro porovnání např. délka odbočky Svitava činí pouze 805 metrů). Spojka č. 1/2 umožňuje jízdu v odbočném směru rychlostí 60 km·h⁻¹, spojka č. 3/4 umožňuje rychlost 50 km·h⁻¹. V přímém směru platí rychlost traťová – 85 km·h⁻¹. V přilehlých traťových úsecích je zřízeno obousměrné traťové zabezpečovací zařízení typu automatický blok (ve směru Ústí nad Orlicí typ ABE-1, ve směru Brandýs nad Orlicí typ AB-88A). Odbočka Bezprávi je dálkově ovládána z CDP Praha, případně z PPV v žst. Ústí nad Orlicí. Obrázek 6 schematicky znázorňuje odb. Bezprávi včetně vzdáleností mezi jednotlivými prvky (10), (11).



Obrázek 6: Schematický náčrt odbočky Bezprávi

Zdroj: Autor na podkladě (10)

Úlohou odbočky Bezprávi je zvýšení propustnosti traťového úseku Brandýs nad Orlicí – Ústí nad Orlicí, který svými parametry vytváří na celé trati kritický úsek. Odbočka přispívá k minimalizaci dopadů výluk a mimořádností na provoz, což se např. v praxi ukázalo při výše zmíněné cca 2 roky trvající výluce. Odbočka, umístěná v km 261,200, rozdělila cca 9 km dlouhý mezistaniční úsek na dvě poloviny. Vzhledem k nízké traťové rychlosti a absenci zastávky v mezistaničním úseku není hlavním cílem odbočky umožnit předjíždění dvou vlaků, neboť traťová rychlost $80\text{--}85\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ je pro většinu vlaků dosažitelným limitem, a tudíž se zde neprojevuje rozdíl v rychlostech (vyjma úseku s rychlostí $120\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ z žst. Ústí nad Orlicí do km 259,187). Z pohledu intenzity provozu je úsek mezi žst. Ústí nad Orlicí a žst. Choceň svými parametry úzkým hrdlem na celé trati mezi Českou Třebovou a Prahou, kde denně projede cca 340 vlaků (souhrnný údaj za oba směry, odpovídá 9. decilu z denních počtů vlaků v období od 1. 1. 2020 do 15. 3. 2020). V tabulce 2 jsou shrnuty základní parametry odbočky Bezprávi (9).

Tabulka 2: Parametry odbočky Bezprávi

Mezistaniční úsek	Ústí nad Orlicí – Brandýs nad Orlicí
Délka mezistaničního úseku	9 km
Rychlost do odbočného směru	$60/50\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$
Traťová rychlost	$85\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$
Délka dopravní	2471 m
Odjezdová návěstidla	Ano
Traťové zabezpečovací zařízení	ABE-1, AB-88A
Průměrný počet vlaků za den	340

Zdroj: Autor na podkladě (9), (10)

1.1.3 Odbočka Svitava

Odbočka Svitava se nachází na trati č. 260 spojující Brno a Českou Třebovou v mezistaničním úseku Brno-Maloměřice St. 6 – Adamov. Stavba odbočky byla součástí kompletní rekonstrukce úseku trati Brno–Blansko, která probíhala od září roku 2021 do 10. 12. 2022, kdy byla trať po roční kompletní uzavírcce provozu slavnostně otevřena. V celém úseku trati došlo k rekonstrukci železničního svršku, spodku, modernizaci zastávek Bílovice n. S., Babice n. S., Adamov-město a stanice Adamov a také k sanačním opravám svahů a pěti tunelů. Nová odbočka je opět řešena formou dvou kolejových spojek tvořených čtyřmi jednoduchými výhybkami, které umožňují přejíždění vlaků mezi traťovými kolejemi. Výhybky jsou konstruovány pro rychlost $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ v odbočném směru, traťová rychlost v místě odbočky je stanovena na $85 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (resp. $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ pro vozidla splňující podmínky pro jízdu dle horních rychlostníků N). Odbočka Svitava je z obou stran ohraničena vjezdovými návěstidly, odjezdová návěstidla nejsou umístěna. V přilehlých traťových úsecích je zřízeno obousměrné traťové zabezpečovací zařízení typu automatický blok ABE-1. Odbočka je ovládána dálkově z CDP Přerov, případně z PPV v žst. Brno-Maloměřice a Adamov (12).

Úlohou nové odbočky je zvýšení propustnosti celé trati, umožnění efektivnějšího řízení provozu při mimořádnostech a vzniklých konfliktech a také zjednodušení organizace provozu při výlukách. Odbočka Svitava se formálně nachází v mezistaničním úseku Brno-Maloměřice St. 6 – Adamov, avšak obvod stavědla 6 v žst. Brno-Maloměřice lze v podstatě chápat jako odbočku, která umožňuje volbu vlakových cest směrem do žst. Brno-Židenice (na traťové koleje T1 a T2) nebo směrem do seřadovací stanice Brno-Maloměřice, avšak neumožňuje přejíždění z jedné traťové koleje na druhou ve směru do/z Adamova. Pro vlaky osobní dopravy jedoucí ze směru Brno hl. n. byla dříve pro volbu traťové koleje směr Adamov jediná možnost, a to již na zhlaví odbočky Brno-Židenice, další možnost byla až ve stanici Adamov. Z tohoto důvodu v podstatě odbočka Svitava rozdělila úsek o délce 13 km (z odb. Brno-Židenice do žst. Adamov). Nákladní vlaky jedoucí z žst. Brno-Maloměřice směr Adamov jsou směřovány na danou traťovou kolej již v obvodu stavědla 3 (na kolej 1c nebo 2c) a následně se v obvodu stavědla 6 napojí na trať směrem od Brna-Židenic (z koleje 1c na 1. traťovou kolej, z koleje 2c na 2. traťovou kolej) (13).

V mezistaničním úseku Brno-Maloměřice St. 6 – Adamov o délce 9 km se nachází zastávky Bílovice nad Svitavou a Babice nad Svitavou, přičemž odbočka Svitava se nachází mezi nimi v km 166,166. Jízdní doba vlaků dálkové dopravy v tomto úseku činí 7,5 min (z Brna-Židenic 10 min), jízdní doba osobních vlaků (zastavujících na obou zastávkách) činí 11 min (z Brna-

Maloměřic 13,5 min). Z pohledu počtu vlaků se jedná o druhý nejvytíženější úsek zaústěný do brněnského uzlu, kterým denně projede cca 225 vlaků (souhrnný údaj za oba směry, odpovídá 9. decilu z denních počtů vlaků v období od 1. 1. 2020 do 15. 3. 2020). V tabulce 3 jsou shrnuty základní parametry odbočky Svitava (9), (13).

Tabulka 3: Parametry odbočky Svitava

Mezistaniční úsek	Brno-Maloměřice St. 6 – Adamov
Délka mezistaničního úseku	9 km
Rychlost do odbočného směru	80 km·h ⁻¹
Traťová rychlost	85 km·h ⁻¹
Délka dopravní	805 m
Odjezdová návěstidla	Ne
Traťové zabezpečovací zařízení	ABE-1
Průměrný počet vlaků za den	225

Zdroj: Autor na podkladě (9), (12)

1.1.4 Odbočka Rajhrad

Odbočka Rajhrad se nachází na trati č. 251 spojující Brno a Břeclav v mezistaničním úseku Modřice – Hrušovany u Brna. Stavba odbočky spojená s rekonstrukcí železničního svršku a spodku cca 800 metrů dlouhého úseku včetně oprav silničního a železničního mostu byla zahájena a dokončena v roce 2021. Nová odbočka je složena ze dvou kolejových spojek tvořených čtyřmi jednoduchými výhybkami, které umožňují přejíždění vlaků z jedné traťové koleje na druhou. Výhybky jsou konstruovány pro rychlost 160 km·h⁻¹ v přímém směru a 80 km·h⁻¹ v odbočném směru, traťová rychlost v celém mezistaničním úseku je 160 km·h⁻¹. Odbočka je z obou stran ohraničena vjezdovými návěstidly, odjezdová návěstidla nejsou zřízena. Přilehlé úseky jsou rozděleny na traťové oddíly obousměrného automatického bloku typu ABE-1. Odbočka je ovládána dálkově z CDP Přerov, případně z PPV v žst. Brno-Horní Heršpice nebo z žst. Hrušovany u Brna (14), (15).

Hlavním cílem této odbočky je zvýšení propustnosti trati Brno–Břeclav umožněním předjíždění vlaků v traťovém úseku Modřice – Hrušovany u Brna, kde dochází ke konfliktům mezi hustou příměstskou a dálkovou dopravou. Mezistaniční úsek Modřice – Hrušovany u Brna o délce cca 11 km zahrnuje 3 zastávky (Popovice u Rajhradu, Rajhrad a Vojkovice nad Svratkou), přičemž odbočka je umístěna v km 131,093 mezi zastávkami Rajhrad a Vojkovice nad Svratkou. Jízdní doba expresních vlaků dálkové dopravy v úseku Modřice – Hrušovany u Brna činí 5 min, naproti tomu jízdní doba osobních vlaků (obsluhujících všechny výše jmenované zastávky) činí

12 min, tedy více než dvojnásobně delší dobu. V úseku jsou provozovány 4 osobní vlaky za hodinu v každém směru souběžně s dálkovými vlaky linky Ex3 v hodinovém taktu, s vlaky dopravce RegioJet, a.s. ve dvouhodinovém taktu (s případným posílením ve špičce každou hodinu) a s vlaky rychlíkové linky R13 ve dvouhodinovém taktu (taktéž s případným posílením ve špičce každou hodinu). Úsekem projede denně cca 240 vlaků (souhrnný údaj za oba směry, odpovídá 9. decilu z denních počtů vlaků v období od 1. 1. 2022 do 31. 3. 2022). V tabulce 4 je provedeno shrnutí základních parametrů odbočky Rajhrad (15), (16).

Tabulka 4: Parametry odbočky Rajhrad

Mezistaniční úsek	Hrušovany u Brna – Modřice
Délka mezistaničního úseku	11 km
Rychlost do odbočného směru	80 km·h ⁻¹
Traťová rychlost	160 km·h ⁻¹
Délka dopravny	693 m
Odjezdová návěstidla	Ne
Traťové zabezpečovací zařízení	ABE-1
Průměrný počet vlaků za den	240

Zdroj: Autor na podkladě (15), (16)

1.1.5 Odbočka Banín

Odbočka Banín bude zřízena na trati č. 260 spojující Brno a Českou Třebovou v mezistaničním úseku Březová nad Svitavou – Svitavy. Stavba odbočky bude součástí investiční akce E-14, jejímž cílem je zavedení dálkového ovládní zabezpečovacího zařízení v traťovém úseku Skalice nad Svitavou (mimo) – Česká Třebová (mimo) a s tím související rekonstrukční práce ve stanicích pro odstranění úrovněového přístupu na nástupiště. Stavba by měla být uskutečněna mezi lety 2030 až 2033. Na základě autorem zjištěných velmi omezených informací o technických parametrech by nová odbočka měla být tvořena dvěma kolejovými spojkami se 4 jednoduchými výhybkami, které umožní jízdu v odbočném směru rychlostí 100 km·h⁻¹, která je zde rovněž rychlostí traťovou. Vlivem využití odbočky pro jízdu z jedné traťové koleje na druhou tak nebude docházet k propadu rychlosti, což přinese pozitivní vliv zejména pro předjíždění dvou vlaků, ale také při výlukových činnostech. Odbočka Banín bude ohraničena vjezdovými návěstidly, odjezdová návěstidla nebudou zřízena. V přilehlých úsecích je v současné době obousměrné traťové zabezpečovací zařízení typu automatický blok AB3-88A. Případné změny v parametrech a konfiguraci odbočky, které mohou v průběhu jejího

projektování nastat, je třeba patřičně ověřit dle dostupných zdrojů. V tabulce 5 je provedeno shrnutí základních parametrů odbočky Banín (17).

Tabulka 5: Parametry odbočky Banín

Mezistaniční úsek	Březová nad Svitavou – Svitavy
Délka mezistaničního úseku	17 km
Rychlost do odbočného směru	100 km·h ⁻¹
Traťová rychlost	100 km·h ⁻¹
Odjezdová návěstidla	Ne
Traťové zabezpečovací zařízení	AB3-88A
Průměrný počet vlaků za den	145

Zdroj: Autor na podkladě (9), (13)

Úlohou odbočky bude zejména zvýšení kapacity během výluk, ale také zvýšení stability jízdního řádu umožněním jízdy z jedné traťové koleje na druhou namísto případného čekání vlaků ve stanicích za účelem předjíždění. Odbočka Banín bude zřízena v mezistaničním úseku Březová nad Svitavou – Svitavy, který se vyznačuje hned několika omezujícími parametry, viz tabulka 6.

Tabulka 6: Parametry mezistaničního úseku Březová nad Svitavou – Svitavy

Délka mezistaničního úseku	17 km
Počet mezilehlých zastávek	3
Traťová rychlost (rozmezí)	85–140 km·h ⁻¹
Rozhodný spád	7 ‰
Jízdní doba Os vč. pobytů na zastávkách	17 min
Jízdní doba Ex	10 min
Počet vlaků za den (9. decil, údaj z roku 2020)	145

Zdroj: Autor na podkladě (13), (18)

Z tabulky 6 je patrné, že mezistaniční úsek Březová nad Svitavou – Svitavy vykazuje většinu předpokladů pro nastání konfliktních situací mezi rychlými a pomalými vlaky. Svou délkou 17 km se jedná o nejdelší mezistaniční úsek na 1. tranzitním koridoru (od Děčína po Břeclav). V úseku se nacházejí 3 zastávky: Březová nad Svitavou-Dlouhá, Hradec nad Svitavou a Svitavy-Lány, které jsou obsluhovány osobními, příp. spěšnými vlaky. Osobní vlaky jsou turnusově vedeny motorovými jednotkami řady 814 s konstrukční rychlostí 80 km·h⁻¹. Dalším omezujícím faktorem úseku jsou sklonové poměry, kde rozhodný spád je stanoven na 7 ‰, ale místy dosahuje 10 ‰ (stoupání ve směru od začátku trati, tj. směr Brno – Česká Třebová). Stoupání se projevuje na prodloužení jízdní doby zejména u těžkých nákladních vlaků, ale také

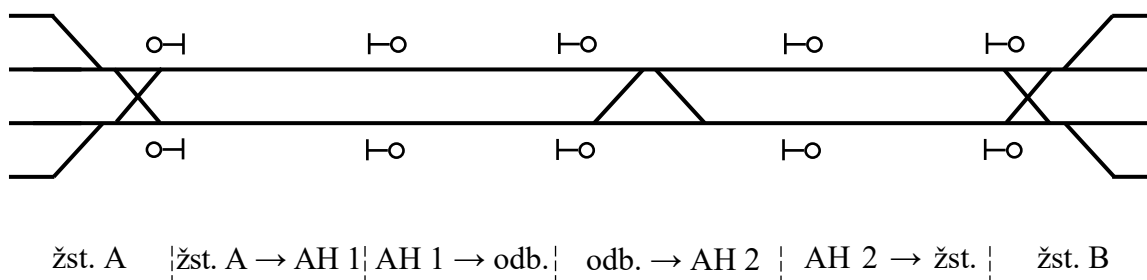
právě u zmíněných osobních vlaků při rozjezdech ze zastávek. Traťová rychlost je v úseku Březová nad Svitavou – Hradec nad Svitavou v rozmezí 85 až 100 km·h⁻¹, v úseku Hradec nad Svitavou – Svitavy dosahuje od 100 do 140 km·h⁻¹. Těmito faktory dochází ke vzniku rozdílu v rychlostech a jízdních dobách mezi rychlými vlaky (kategorie Ex, R) a pomalými vlaky (kategorie Os, Sp a nákladní vlaky), a s tím spojeným konfliktům, které se v současnosti musí řešit vyhýbáním a čekáním pomalého vlaku ve vhodné stanici za účelem předjetí a následným rozjezdem do stoupání. Právě k řešení těchto konfliktů může být využita nová odbočka Banín, která poskytne větší flexibilitu pro operativní řízení provozu. Odbočka může eliminovat např. energeticky neefektivní zastavování a opětovné rozjíždění těžkých nákladních vlaků nebo nárůst zpoždění osobních vlaků při čekání vlivem narušení jízdy vlaku vyšší priority.

Odbočka Banín je vzhledem k vlastnostem mezistaničního úseku Březová n. S. – Svitavy takřka vzorovým zástupcem tohoto typu dopravní na dvoukolejně trati, proto byla vybrána pro výzkum problematiky odboček a faktorů ovlivňujících jejich využitelnost pro výše zmíněné konfliktní situace. Pomocí simulačního modelu části železniční trati mezi žst. Skalice nad Svitavou a žst. Česká Třebová v programu OpenTrack bude provedena počítačová simulace provozu přes odbočku Banín za účelem posouzení konkrétních faktorů, které ovlivňují využitelnost odbočky pro řešení konfliktů.

1.1.6 Situace v zahraničí

Problematika odboček na dvoukolejných tratích je aktuální také na Slovensku, konkrétně na koridoru spojujícím Bratislavu a Žilinu. Tato trať se nachází v závěrečné fázi rekonstrukce, jejímž cílem bylo mimo jiné dosažení traťové rychlosti 160 km·h⁻¹ na většině úseků, odstranění úrovnových křížení s pozemními komunikacemi nebo zavedení systému ETCS. Velkých změn však dosáhlo traťové zabezpečovací zařízení, kde původní automatický blok byl nahrazen automatickým hradlem, které rozděluje mezistaniční úsek pouze na dva prostorové oddíly. V souvislosti s tímto opatřením došlo ke snížení propustnosti celé trati. I proto je zde zřízeno několik odboček, které dlouhé mezistaniční úseky s automatickým hradlem rozdělí na 4 prostorové oddíly (viz obrázek 7):

- mezi zadní stanicí (žst. A) a oddílovým návěstidlem automatického hradla (AH 1),
- mezi oddílovým návěstidlem automatického hradla (AH 1) a odbočkou (odb.),
- mezi odbočkou (odb.) a oddílovým návěstidlem automatického hradla (AH 2),
- mezi oddílovým návěstidlem automatického hradla (AH 2) a přední stanicí (žst. B).



Obrázek 7: Schéma mezistaničního úseku s odbočkou a automatickým hradlem

Zdroj: Autor

Obrázek 7 zobrazuje pro lepší přehlednost pouze situaci z pohledu jízdy ze žst. A do žst. B, nezohledňuje tedy umístění oddílových návěstidel automatického hradla a vjezdových návěstidel odbočky pro opačný směr. S uvážením směru jízdy pak souvisí pojmy zadní a přední stanice, které znázorňují krajní stanice příslušného mezistaničního úseku (v zadní stanici vlak do mezistaničního úseku vstupuje, do přední stanice vlak směřuje a zde daný úsek opouští). Tato terminologie a postup jsou uplatňovány v celé diplomové práci.

Na koridoru z Bratislavy do Žiliny se nachází celkem 6 odboček, přičemž délka trati dosahuje 203 km. Specifikem slovenských odboček ve smyslu kolejových spojek na širé trati je jejich odlišné pojmenování slovem „výhybňa“. Zajímavostí je, že v České republice se dříve pro tuto koncepci odboček také oficiálně používal název výhybna. Seznam odboček, které jsou v provozu na této trati, zachycuje tabulka 7. V případě mezistaničního úseku Nové Mesto nad Váhom – Piešťany jsou uvedeny dvě odbočky, přičemž každá umožňuje přechod z jedné koleje na druhou pouze v jednom směru, tzn. je zde pouze jedna kolejová spojka (19).

Tabulka 7: Seznam odboček na trati Bratislava–Žilina

Odbočka (výh.)	Mezistaniční úsek	Délka [km]	Km poloha
Svätý Jur	Bratislava-Rača – Pezinok	12	14,045
Brestovany zast.	Trnava–Leopoldov	17	55,011
Horná Streda	Piešťany – Nové Mesto nad Váhom	18	88,308
Potvorice	Piešťany – Nové Mesto nad Váhom	18	93,060
Nivy	Trenčianske Bohuslavice – Trenčín-Zlatovce	15	113,549
Plevník–Drienové	Považská Bystrica – Bytča	15	178,288

Zdroj: Autor na podkladě (19)

Dělení mezistaničních úseků pomocí odboček je široce využíváno také v Německu nebo Rakousku. V těchto zemích pro takovou odbočku existuje výraz „Überleitstelle“, příp. zkráceně „Üst“. Odbočky v mezistaničním úseku vznikaly přibližně od 70. let 20. století s rozvojem

reléových zabezpečovacích zařízení a následně s konceptem dálkového řízení tratí a výstavbou vysokorychlostních tratí. Odbočka je v německých předpisech „Eisenbahn-Bau-und Betriebsordnung“ (EBO) definována jako doprava na širé trati, kde mohou vlaky přecházet na jinou kolej téže trati (20).

Pro konkrétní příklady lze využít např. trať z Děčína do Drážďan, kde se nachází hned 2 takové odbočky. První z nich, Úst Königstein, se nachází v polovině mezistaničního úseku Bad Schandau – Kurort Rathen o délce 10 km. Odbočka je tvořena dvěma kolejovými spojkami s výhybkami pro rychlost $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do odbočného směru, traťová rychlost v úseku je $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Druhá odbočka Úst Obervogelgesang se nachází v 13 km dlouhém úseku Kurort Rathen – Pirna. Je složena ze dvou kolejových spojek s výhybkami pro rychlost $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, traťová rychlost opět dosahuje $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. U obou odboček jsou zřízena návěstidla, která principiálně plní funkci vjezdových návěstidel, jako je tomu např. v České republice, tzn. dovolují vjezd vlaku do odbočky včetně návěstění rychlosti v obvodu výhybek přilehlých k návěstidlu s případným předvěstěním návěsti následujícího návěstidla. Odbočky nacházejí využití zejména v období výluk z důvodu vyčerpané kapacity v pohraničním úseku trati, kde se střetává silná regionální doprava s nákladní dopravou mezi Českou republikou a Německem. O odbočkách a jejich zřizování, resp. reaktivaci se hovoří stále více v souvislosti s vyčerpaností kapacity železniční dopravní cesty a řešením budoucích opatření na její zvýšení formou účinných a méně nákladných opatření (21), (22).

Příkladem zřízení odboček v Rakousku může být např. vysokorychlostní trať (dále jen VRT) Neue Westbahn spojující Vídeň a St. Pölten, která je konstruována pro traťovou rychlost $250 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Na trati se nachází 3 odbočky, z nichž zejména odbočka (Úst) Knoten Hadersdorf 1 je zajímavá svým umístěním uvnitř tunelu Wienerwaldtunnel v úseku Wien Hütteldorf – Tullnerfeld. Odbočka se nachází v 24 km dlouhém úseku s traťovou rychlostí $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, je tvořena 2 kolejovými spojkami se 4 výhybkami pro rychlost $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ v odbočném směru. Další dvě odbočky se nachází v 26 km dlouhém úseku Tullnerfeld – Knoten Wagram a jsou označeny jako Úst Tullnerfeld 2 a Úst Tullnerfeld 4. Obě disponují 4 výhybkami ve dvou spojkách, přičemž první z nich umožňuje rychlost $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do odbočného směru, druhá $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, traťová rychlost v místě obou odboček je stanovena na $250 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Odbočky na této vysokorychlostní trati mají své opodstatnění, neboť se jedná o VRT se smíšeným provozem vlaků osobní i nákladní dopravy, tudíž zde může docházet ke konfliktům mezi pomalými a rychlými vlaky. Bude-li uvažována maximální rychlost vlaků

nákladní dopravy $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, mohl by rozdíl rychlostí osobních a nákladních vlaků vzhledem k traťové rychlosti přesahovat až $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (22), (23).

Budování nových odboček je typické také v Polsku, kde je lze najít pod označením „posterunek odgałęźny“. Příkladem může být vysokorychlostní trať CMK („Centralna Magistrala Kolejowa“) spojující Varšavu a Katowice, kde v roce 2017 vznikla odbočka Pilichowice a rozdělila tak mezistaniční úsek Opoczno Południowe – Olszamowice o délce 32 km na dva úseky. Odbočka je tvořena dvěma kolejovými spojkami se čtyřmi výhybkami pro rychlost $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ v přímém směru a $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ v odbočném směru. Odbočka je kryta vjezdovými návěstidly, odjezdová návěstidla nejsou zřízena. Důvodem vybudování této odbočky bylo zvýšení kapacity úseku a zlepšení podmínek pro řízení provozu při výlukách (24), (25).

Na CMK se kromě odbočky Pilichowice nachází také odbočka Biała Rawska, která je umístěna v 33 km dlouhém mezistaničním úseku Szeligi–Strzałki a svými parametry odpovídá odbočce Pilichowice. Vzhledem k délce některých mezistaničních úseků jsou na trati pro účely přejíždění mezi traťovými kolejemi v provozu také další odbočky, avšak ty umožňují také přechod vlaků z jedné trati na druhou nebo k odbočení na vlečku. Příkladem takové odbočky je odb. Knapówka v úseku Włoszczowa Północ – Psary o délce 16 km, která rovněž disponuje výhybkami na $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do odbočného směru a $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ v přímém směru. Z pohledu homogenity provozu je CMK tratí se smíšeným provozem, tudíž i zde mají odbočky své opodstatnění nejen při výlukách, ale také pro řešení případných konfliktů mezi vlaky (26), (27).

Kromě vysokorychlostní tratě CMK lze odbočky nalézt také na konvenční síti polských železnic. Ve většině případů se však jedná o odbočky ve smyslu styku několika tratí, nicméně s umožněním přechodu z jedné traťové koleje na druhou. Lze se ale setkat také s nově vybudovanými odbočkami v podobě kolejových spojek mezi traťovými kolejemi, které vznikly jako náhrada za dříve zrušené stanice. Mnoho polských stanic bylo v minulosti zrušeno a nahrazeno zastávkou, příp. bylo jejich kolejiště zredukováno natolik, že předjízdné koleje zůstaly napojeny na hlavní koleje pouze na jednom zhlaví, tudíž nejsou průjezdné. Příkladem mohou být např. bývalé stanice Pieńsk a Jędrzychowice na trati č. 278 spojující Węglińiec a Zgorzelec (Görlitz). Bývalá stanice Jędrzychowice byla nahrazena zastávkou s jedinou kolejovou spojkou a jednostranným napojením na vlečkové koleje bez trolejového vedení. Bývalá stanice Pieńsk byla taktéž nahrazena zastávkou se zachováním dvou manipulačních kolejí bez trolejového vedení s pouze jednostranným napojením na traťové koleje. Přibližně 1 km za zastávkou Pieńsk směr Węglińiec byla zřízena odbočka se dvěma kolejovými spojkami. Zrušením obou stanic vznikl 28 km dlouhý mezistaniční úsek Görlitz–Węglińiec

s pěti mezilehlými zastávkami bez předjízdých kolejí. Díky dvěma odbočkám Jedrzychowice a Pieńsk je však možné využít alespoň jízdu po nesprávné koleji za účelem případného předjíždění nebo pro výlukové činnosti. Obě odbočky jsou dálkově ovládány z žst. Węgliniec (28), (29).

Zejména z uvedených příkladů z Rakouska a Polska lze pozorovat 2 trendy v oblasti tvorby dlouhých mezistaničních úseků: redukce nadbytečné infrastruktury stanic a projektování VRT s dlouhými mezistaničními úseky (z přepravních důvodů). Má-li být uvažován smíšený provoz, je třeba se zabývat řízením sledu vlaků a výlukami. Lze tak předpokládat, že odbočky budou mít v této souvislosti stále větší význam.

1.2 Základní faktory a předpoklady pro využití odboček

Po předchozím seznámení s problematikou odboček a s konkrétními příklady v České republice i v zahraničí je nyní třeba stanovit základní východiska, která budou mít zásadní význam pro simulování jednotlivých scénářů v rámci simulačního modelu. Předmětem praktické části této práce je zkoumat faktory, které ovlivňují využitelnost odboček při bezvýlukových stavech. Z analytických výstupů je totiž zřejmé, že odbočky jsou zřizovány primárně pro výluky, avšak je důležité posoudit jejich využitelnost i za standardního provozu, což je právě předmětem této diplomové práce. Z toho vyplývá, že pozornost bude věnována využití odboček pro řešení konfliktních situací mezi rychlými a pomalými vlaky ve sledu umožněním jejich předjetí. Celkový rámec řešení problematiky odboček v této práci shrnuje tabulka 8.

Tabulka 8: Rámec řešení problematiky odboček v diplomové práci

Provoz		
Výluka 1 traťové koleje	Bez výluky	
	S plánovaným využitím odbočky v JŘ	Bez plánovaného využití odbočky v JŘ
Přínos: prvek zvyšující kapacitu a plynulost provozu při výluce	Přínos: nové možnosti tvorby JŘ, rozložení tras vlaků	Přínos: prvek zvyšující stabilitu JŘ
Řešení: analyticky pomocí výpočtů propustnosti	Řešení: v diplomové práci neřešeno, závisí na konkrétních podmínkách	Řešení: z části analyticky, především simulačně (software OpenTrack)

Zdroj: Autor

Souhrn v tabulce 8 znázorňuje směr řešení problematiky odboček, který byl autorem zvolen pro tuto diplomovou práci. Oblast využitelnosti odboček při výlukách byla popsána v úvodních částech této práce včetně výpočetního posouzení z pohledu vlivů na propustnost. Hlavní

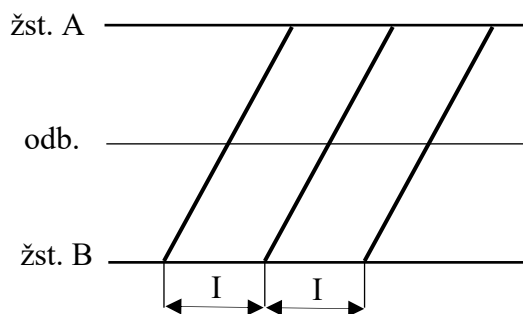
předmět výzkumu je posouzení využitelnosti odboček při běžném provozu bez výluk a bez plánovaného využívání odboček v JŘ (tzn. rozložení tras vlaků v JŘ neuvažuje s možností předjíždění pomocí odboček, ale vždy ve stanicích). Budou tak posuzovány situace, kdy např. vlivem zpoždění dojde k vzniku konfliktu až v mezistaničním úseku, kde právě odbočka může umožnit předjetí po nesprávné koleji a zajistit tak větší stabilitu JŘ.

Naproti tomu situace v prostředním sloupci tabulky, kdy je s odbočkou přímo počítáno v JŘ, nebude v této práci řešena. Jedná se o velmi specifickou oblast, kterou v zásadě ovlivňují 3 skutečnosti: poptávka po vlakových trasách (jejich časových polohách), technické hledisko (konfigurace infrastruktury a parametry vlaků) a do jisté míry subjektivní přístup konstruktéra JŘ. Jedná se tedy o problematiku, kterou lze obtížně zobecnit, tudíž by bylo vhodné jí věnovat náležitou pozornost v samostatné práci se zaměřením na konkrétní podmínky.

V rámci simulací bude základním zjednodušujícím předpokladem skutečnost, že provoz je uskutečňován standardně jako pravostranný. V praxi toto není podmínkou, nicméně i s ohledem na volbu odbočky Banín a vazbu na 1. tranzitní koridor lze předpoklad přijmout jako přípustné zjednodušení. Jestliže nastane konflikt mezi dvojicí vlaků, lze uskutečnit jejich předjetí jízdou druhého vlaku na odbočce ze správné koleje na kolej tzv. proti správnému směru (dále jako nesprávná kolej). Využití nesprávné koleje je teoreticky v souladu s těmito základními předpoklady:

- P1: Homogenita/heterogenita provozu má vliv na využití odbočky.
- P2: Zkracování mezidobí mezi vlaky zvyšuje potřebu využití odbočky.
- P3: Jízdy vlaků opačného směru mohou omezovat využitelnost odbočky.

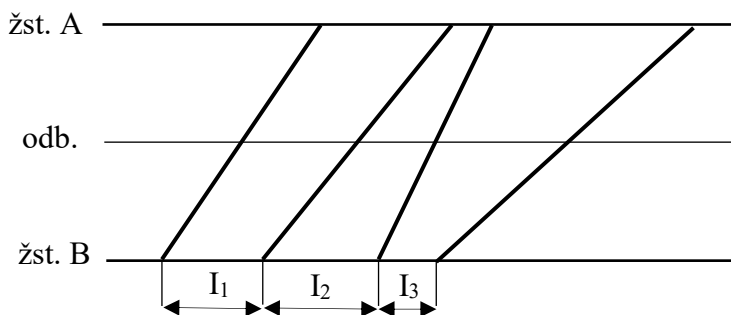
Předpoklad P1 lze vysvětlit na příkladu fiktivní dvoukolejné trati, na které je uvažován homogenní provoz vlaků, tj. vlaků přibližně stejných parametrů (kategorie, rychlost, hmotnost, délka, dynamická charakteristika apod.). V takovém případě by nemělo docházet ke vzniku konfliktů mezi vlaky např. v důsledku rozdílu v rychlostech nebo kvůli sledu zastávkového a projíždějícího vlaku. Reálným příkladem z praxe může být např. provoz metra nebo VRT s homogenním provozem dálkových rychlovlaků, jež lze graficky znázornit pomocí rovnoběžného jízdního řádu. Pro tento typ provozního konceptu je využitelnost odboček v mezistaničním úseku minimální, neboť v důsledku absence konfliktů mezi vlaky není důvod k jejich předjíždění a mohou být provozovány za sebou na jednotnou hodnotu rozhodného následného mezidobí I . Podobu rovnoběžného jízdního řádu znázorňuje obrázek 8.



Obrázek 8: Rovnoběžný jízdní řád

Zdroj: Autor na podkladě (5)

Opačným případem je heterogenní provoz, který se vyznačuje rozdílností mezi jednotlivými vlaky z pohledu jejich kategorie, rychlosti, hmotnosti, délky, dynamické charakteristiky apod. Typickým příkladem je smíšený provoz vlaků osobní a nákladní dopravy po téže trati (traťové koleji), resp. smíšený provoz osobních vlaků dálkové a příměstské (regionální) dopravy. V těchto případech se projevují rozdíly v jízdních dobách a dochází ke vzniku konfliktů mezi obecně rychlými a pomalými vlaky. Pro řešení těchto konfliktů může být využita odbočka např. za účelem předjíždění nebo krátkodobé souběžné jízdy. Potřeba využití odbočky teoreticky roste se zvětšujícím se rozdílem mezi charakteristikami jednotlivých vlaků. Heterogenní provoz je charakteristický rozdílnou hodnotou rozhodného následného mezidobí pro dané dvojice vlaků a tzv. nerovnoběžným jízdním řádem, který je znázorněn na obrázku 9.



Obrázek 9: Nerovnoběžný jízdní řád

Zdroj: Autor na podkladě (5)

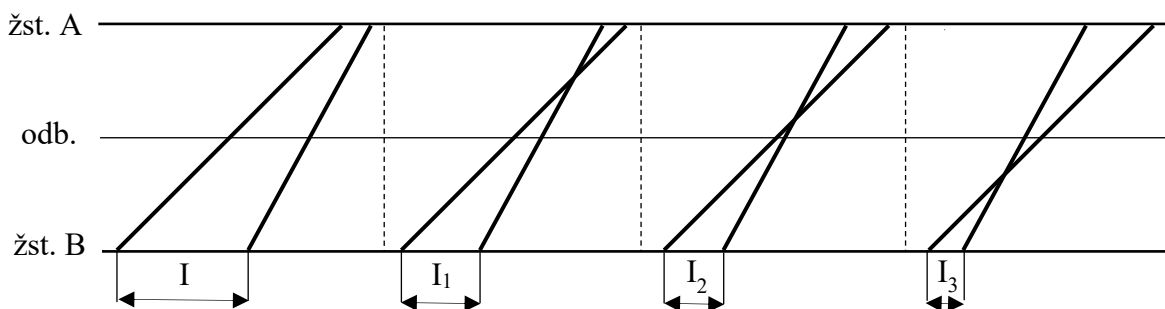
Předpoklad P2 vychází z předpokladu P1 a jeho vazby heterogenního provozu na využívání odbočky. Jsou-li v mezistaničním úseku s odbočkou na dvoukolejně trati vypravovány jednotlivé vlaky stejného směru za sebou, lze považovat za rozhodující jejich časový odstup, tzn. časový úsek mezi odjezdem/průjezdem 1. vlaku ze zadní stanice a odjezdem/průjezdem 2. vlaku z téže stanice na stejnou traťovou kolej. Tento časový úsek lze obecně popsat jako mezidobí (skutečný časový odstup mezi konkrétními vlaky), které může teoreticky (technologicky) nabývat hodnot

od následného mezidobí (technologický ukazatel, rozhodující při konstrukci JŘ) do nekonečna. V těchto (i následujících) úvahách jsou opět používány pojmy zadní a přední stanice, které v tomto smyslu ohraničují příslušný mezistaniční úsek ve vztahu ke směru jízdy (viz vysvětlení v kapitole 1.1.6). Jestliže je mezistaniční úsek rozdělen na traťové oddíly např. s využitím automatického bloku, může být vlaková cesta ze zadní stanice pro 2. vlak postavena dříve, než uplyne následné mezidobí. Výpočet následného mezidobí na AB totiž z technologického hlediska uvažuje minimálně 2 až 4 volné prostorové oddíly mezi dvěma vlaky v závislosti na rychlosti 2. vlaku a skutečnosti, zda se tento vlak ze zadní stanice rozjíždí nebo zde projíždí. V reálném provozu toto následné mezidobí nemusí být dodrženo a 2. vlak může být vypraven v nejkratší možné době, tedy jakmile je uvolněn 1. traťový oddíl za 1. vlakem. Z tohoto důvodu hodnota mezidobí mezi dvěma vlaky může být prakticky kratší než následné mezidobí.

Pro každý mezistaniční úsek je sestavena tabulka následných mezidobí, která uvažuje typové dvojice vlaků, jejich jízdní doby a k nim vypočtenou hodnotu následného mezidobí. Při dodržení stanoveného následného mezidobí by nemělo docházet ke vzniku konfliktu v daném mezistaničním úseku a případné předjíždění by mělo být vykonáno až v přední stanici bez negativního vlivu na 2. vlak. Není-li následné mezidobí dodrženo a časový odstup dvou vlaků je kratší, vznik konfliktu lze očekávat již uvnitř mezistaničního úseku, přičemž možnost předjetí je až v přední stanici. Z toho důvodu dochází k prodloužení jízdní doby 2. vlaku a nárůstu zpoždění. Čím kratší mezidobí mezi dvěma vlaky je, tím dříve nastane jejich vzájemný konflikt, tzn. tím delší dobu/vzdálenost je 2. vlak omezen 1. vlakem a narůstá tak jeho zpoždění.

Minimálně pro částečnou eliminaci tohoto zpoždění může sloužit odbočka v mezistaničním úseku, jejíž využití pro předjíždění roste se zkracujícím se mezidobím mezi dvěma vlaky. Při krácení mezidobí na minimum lze však očekávat, že využití odbočky naopak bude klesat, neboť bude nutné konflikt řešit již v zadní stanici odjezdem 2. vlaku na „nesprávnou“ kolej, případně předjetím pomalého 1. vlaku přímo ve stanici. Jestliže mezidobí vzroste nad hodnotu stanoveného následného mezidobí, daná dvojice vlaků se vzájemně neovlivní, tudíž není třeba využít odbočku pro jízdu 2. vlaku na nesprávnou kolej.

Zkracování mezidobí I_x mezi vlaky na hodnotu nižší, než je stanovené následné mezidobí I , a jeho vliv na polohu, resp. okamžik vzniku konfliktu schematicky znázorňuje obrázek 10.



Obrázek 10: Vliv zkracování mezidobí na polohu vzniku konfliktu

Zdroj: Autor

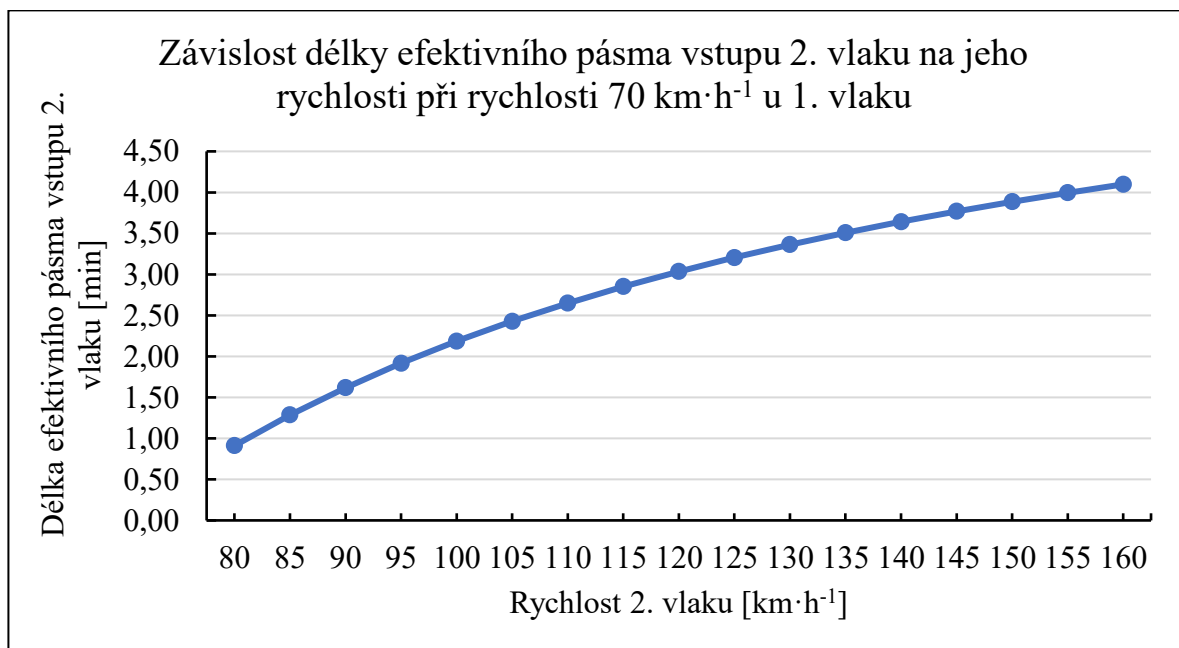
Obrázek 10 slouží pro demonstraci polohy vzniku konfliktu v závislosti na mezidobí. V reálném provozu je však úlohou zaměstnanců řízení provozu těmto konfliktům předcházet, proto je třeba obrázek považovat za studijní nákres.

Dle autorovy úvahy existuje určitý interval hodnot mezidobí $\langle I_{min}; I_{max} \rangle$ mezi dvěma vlaky, při kterém je výhodné využít odbočku pro jejich vzájemné předjetí. Je-li mezidobí kratší než I_{min} , připadá v úvahu jízda rychlejšího 2. vlaku na nesprávnou kolej už ze zadní stanice (případně předjetí vlaků přímo ve stanici). Je-li mezidobí delší než I_{max} , jízda na nesprávnou kolej za účelem předjíždění je již bezpředmětná, neboť by rychlejší vlak nedostihl vlak pomalejší. O tom, jak velké musí být mezidobí, aby využití odbočky bylo prospěšné, rozhoduje zejména délka mezistaničního úseku, poloha odbočky v daném úseku a rozdíl rychlostí dvou vlaků. Existují tedy vždy krajní hodnoty časového intervalu, které vyjadřují okamžik, od kdy se vyplatí předjíždět pomocí odbočky (I_{min}), a do kdy (I_{max}). Tento interval lze nazývat např. jako efektivní pásmo vstupu 2. vlaku do mezistaničního úseku z hlediska využití odbočky. Slovo efektivní je zde využito z hlediska výzkumu prospěšnosti odbočky pro řešení konfliktu mezi 1. a 2. vlakem. Je zřejmé, že optimální variantou je jízda dvou vlaků v takovém časovém rozmezí, aby vůbec nedošlo k vzájemnému ovlivnění a tím pádem by nebylo nutné vést daný vlak do odbočného směru (sníženou rychlostí přes výhybky) a současně tak obsadit i nesprávnou kolej (může dojít k narušení vlaků opačného směru). Z hlediska výzkumu je však třeba se zaměřit na varianty, při kterých ke konfliktům vlaků ve sledu dochází, a právě odbočka může negativní dopady eliminovat nebo alespoň redukovat.

Tyto myšlenky lze demonstrovat pomocí zjednodušeného výpočtu s využitím základních fyzikálních vzorců pro rovnoměrný přímočarý pohyb hmotného bodu. Je zvolen libovolný mezistaniční úsek o konkrétní délce, ve kterém je umístěna odbočka, jejíž poloha vzhledem k mezistaničnímu úseku je volitelná. Do výpočtu jsou zahrnuty dva vlaky, z nichž první je pomalý s pevně zadanou rychlostí (např. $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) a druhý je rychlý s variabilní rychlostí.

Mezistaniční úsek je rozdělen na dva prostorové oddíly (mezi zadní stanicí a odbočkou a mezi odbočkou a přední stanicí). Jsou vypočteny jízdní doby pro oba vlaky nejprve v celém mezistaničním úseku, následně pro úsek mezi zadní stanicí a odbočkou. S uvažováním provozního intervalu následné jízdy začíná efektivní pásma vstupu 2. vlaku v okamžiku uvolnění 1. prostorového oddílu 1. vlakem. Efektivní pásma vstupu 2. vlaku trvá po dobu, do kdy je součet jízdní doby 1. vlaku v 1. prostorovém oddílu a jízdní doby 2. vlaku v 1. prostorovém oddílu menší nebo roven jízdní době 1. vlaku v celém mezistaničním úseku.

Pro názornou představu, jak závisí délka efektivního pásma vstupu 2. vlaku na rychlosti obou vlaků v konkrétním mezistaničním úseku, lze uvést následující modelový příklad. Je dán 17 km dlouhý mezistaniční úsek s odbočkou v jeho polovině, kde 1. vlak má pevně zadanou rychlost $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a 2. vlak má rychlost variabilní od 80 do $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Provozní interval následné jízdy je pro obě dopravní stanoven na 1 minutu. Výsledné hodnoty délky efektivního pásma vstupu 2. vlaku za účelem předjíždění s využitím odbočky znázorňuje graf na obrázek 11. Z grafu je patrné, že při dané rychlosti 1. vlaku roste délka efektivního pásma vstupu 2. vlaku s rostoucí rychlostí tohoto vlaku.



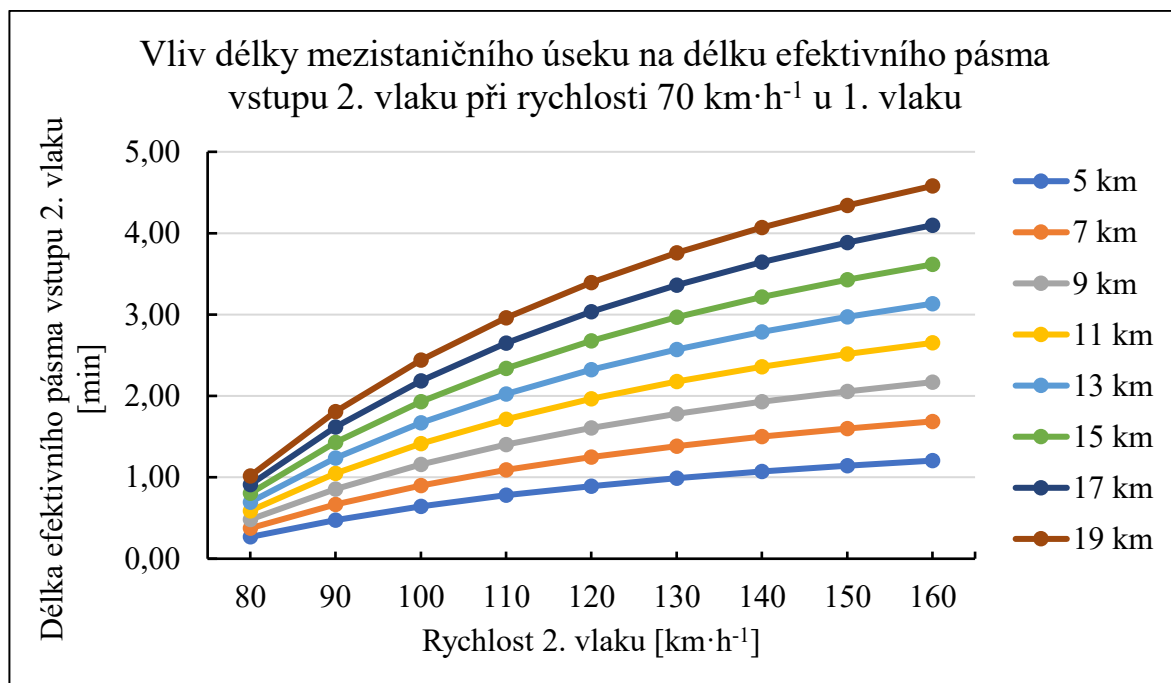
Obrázek 11: Délka efektivního pásma vstupu 2. vlaku

Zdroj: Autor

Tento základní výpočet je využitelný pouze pro situaci s tratí rozdělenou pomocí odbočky na 2 prostorové oddíly. V podmínkách koridorových tratí se ale z převážné většiny lze setkat s dělením trati na traťové oddíly automatického bloku, které přirozeně umožňují zkracovat mezidobí mezi vlaky, čímž tento výpočet pozbývá aplikovatelnosti. Využití tohoto

jednoduchého výpočtu by mohlo nastat např. při výluce traťového zabezpečovacího zařízení, při kterém by byla uskutečňována jízda v mezistaničním oddílu (resp. v prostorovém oddílu mezi stanicí a odbočkou). Pro případ trati s automatickým blokem je třeba při výpočtu respektovat jednotlivé traťové oddíly a uvažovat jízdu 2. vlaku ze zadní stanice již po uvolnění 1. oddílu (a následujících) za 1. vlakem, nikoliv čekat až do okamžiku uvolnění celého prostorového oddílu mezi zadní stanicí a odbočkou. Výpočet je proto detailnější a poskytuje přesnější výsledky. Tento postup byl využit pro výpočty konkrétních hodnot mezidobí pro reálný traťový úsek Březová nad Svitavou – Svitavy s odbočkou Banín a je detailněji popsán v kapitole 3.

Výhodou tohoto obecného výpočtu je však jeho dobrá vypovídací schopnost z hlediska obecného vysvětlení základních faktorů, které mají vliv na využitelnost odboček pro předjíždění dvou vlaků. Bude-li uvažována podobná modelová situace, kdy 1. vlak je pomalý s konstantní rychlostí $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a za ním jedoucí 2. vlak s rychlostí variabilně od 80 do $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, je možné pro libovolný mezistaniční úsek o volitelné délce např. od 5 do 19 km s odbočkou přesně v jeho polovině znázornit, jak na těchto faktorech závisí délka intervalu mezidobí (pásma efektivního vstupu 2. vlaku do mezistaničního úseku), ve kterém dojde k efektivnímu využití odbočky pro jízdu 2. vlaku na nesprávnou kolej. Výsledná závislost je znázorněna na obrázku 12.



Obrázek 12: Vliv délky mezistaničního úseku a rychlosti 2. vlaku na využitelnost odbočky

Zdroj: Autor

Z obrázku 12 je zřejmé, že s rostoucí rychlostí 2. vlaku a současně s rostoucí délkou mezistaničního úseku roste délka efektivního pásma vstupu 2. vlaku. Je však třeba brát v úvahu, že čím je delší mezistaniční úsek, tím delší je doba obsazení. S rostoucí dobou obsazení nesprávné koleje v úseku mezi odbočkou a přední stanicí však roste pravděpodobnost, že dojde k narušení některého z vlaků jedoucích opačným směrem. A právě touto problematikou se zabývá předpoklad P3.

Předpoklad P3 dále rozvíjí myšlenky z předpokladů P1 a P2 a zohledňuje provoz vlaků opačného směru po správné koleji, tj. uvažuje např. provoz vlaků směrem od začátku trati po 2. traťové koleji a směrem od konce trati po 1. traťové koleji, tj. dle standardních pravidel pravostranného provozu v podmínkách ČR. Předpoklad P3 principiálně plní funkci omezující podmínky pro využitelnost odbočky za účelem jízdy jednoho z dvojice vlaků na nesprávnou kolej. Aby mohla být nesprávná kolej mezi odbočkou a stanicí využita pro předjíždění vlaků, nesmí být v danou chvíli postavena vlaková cesta pro vlak opačným směrem na tutéž kolej. O tom, zda lze využít odbočku pro jízdu na nesprávnou kolej, rozhoduje kromě momentální volnosti trati také skutečnost, zda lze obsadit tuto kolej po dobu jeho jízdy do přední stanice, aniž by svou jízdou omezil vlak opačného směru. Je tedy zapotřebí splnit dvě základní podmínky:

1. Je úsek mezi odbočkou a přední stanicí volný v okamžiku rozhodování o jízdě na nesprávnou kolej?
2. Bude úsek volný i po dobu, která je rovna součtu doby obsazení traťového úseku předjíždějícím vlakem a intervalu křížování v přední stanicí?

Jsou-li obě podmínky splněny, lze nesprávnou kolej využít bez omezení. Je zřejmé, že s rostoucím počtem vlaků opačného směru klesá možnost využití odbočky pro jízdu vlaků z jedné traťové koleje na druhou. V praxi ale mohou nastávat situace, kdy není splněna druhá podmínka pro volnost úseku po dobu obsazení a intervalu křížování, ale i přesto je jízda vlaku po nesprávné koleji povolena. Rozhodnutí mohou ovlivňovat i další faktory, které obvykle musí vyhodnotit zaměstnanci řízení provozu (výpravčí, traťový dispečer, provozní dispečer), jako např.:

- vyšší priorita vlaku z důvodu jeho kategorie (např. Ex vs. Mn),
- potřeba eliminace zpoždění mezinárodního vlaku,
- potřeba zajištění přípojných vazeb v přestupním uzlu,
- potřeba prioritního provezení těžkého nákladního vlaku do stoupání bez zastavení z důvodu snížení rizika jeho uváznutí v mezistaničním úseku,
- jízda vlaku v pravidelné trase na úkor vlaku ve zbytkové kapacitě dráhy.

Tyto faktory lze s určitým zjednodušením zahrnout do simulačních scénářů, nicméně nelze očekávat intuitivní rozhodování jako v případě zaměstnanců řízení provozu. Je-li potřeba zahrnout tyto faktory do simulace, musí být definovány jako vstupní hodnoty pro jednotlivé scénáře. Např. zpoždění vlaků může být generováno automaticky dle zadaného rozdělení pravděpodobnosti, případně deterministicky uživatelem zadanou hodnotou, o kterou se zvýší, resp. sníží mezidobí mezi vlaky. Zpoždění v simulaci v podstatě vyjadřuje reálné zpoždění vlaku, které mohlo vzniknout např. opožděným příjezdem mezinárodního vlaku ze sousedního státu, čekáním na přípojný vlak mimo simulovanou oblast, vlivem obratu soupravy apod. V těchto případech je zpoždění v simulaci generováno/přirázováno jednotlivým vlakům jako vstupní zpoždění (d_{IN}) při vstupu do simulované oblasti. Zpoždění, které vznikne již v průběhu simulace, se označuje jako primární zpoždění (d_{PRIM}). Důvodem primárního zpoždění může být např. porucha vozidla, prodloužení pobytu ve stanici nebo v zastávce z důvodu zvýšené frekvence cestujících, prodloužení jízdní doby ve stoupání nebo obecně nesoulad mezi předpokládanými parametry jízdy vlaku a skutečností. V průběhu simulace může docházet k přenosu zpoždění z jednoho vlaku na jiný, např. vlivem předjíždění dvou vlaků ve stanici, kdy včas jedoucí osobní vlak je předjížděn zpožděným Ex. Vznik zpoždění tohoto předjížděného vlaku lze definovat jako tzv. zpoždění přenesené. Jedním z výstupů simulace je hodnota výstupního zpoždění (d_{OUT}), která je dána součtem vstupního, primárního zpoždění a příp. přeneseného zpoždění. Výpočet může být zkrácený, je-li uvažováno např. krácení plánovaného pobytu ve stanici z přepravních důvodů nebo krácení jízdní doby při snaze o eliminaci zpoždění. Autorem zvolený software OpenTrack však umožňuje nastavit minimální nutný pobyt vlaku ve stanici/na zastávce např. pomocí funkce „Dwell“ při tvorbě jízdního řádu, což bylo v této práci využito a minimální nutný pobyt byl nastaven totožně s plánovaným pobytem daným jízdním řádem. Pomocí výstupního zpoždění lze stanovit přírůstek zpoždění (Δd) rozdílem d_{OUT} a d_{IN} , čímž je možné např. hodnotit prospěšnost opatření pro řešení dopravní situace. Přírůstek zpoždění může nabývat také záporných hodnot, které tímto vyjadřují krácení zpoždění. Je-li systém posuzován jako asymptoticky stabilní, pak i záporné hodnoty jsou uvažovány, což je i případ této práce. Praktickým příkladem může být právě přínos odbočky pro snížení zpoždění vlivem umožnění předjetí pomalejšího vlaku po nesprávné koleji.

1.3 Analýza provádění simulace

Zatímco v kapitole 1.2 byly popsány základní předpoklady, které do jisté míry vysvětlují očekávaný průběh simulací a vznik možných variant konfliktů a jejich řešení, v této kapitole je pozornost zaměřena na obecné možnosti, jak lze přistoupit k provádění simulací a jaké postupy

jsou např. využívány u Správy železnic. Na základě zjištěných možností bude autorem zvolen vlastní postup, který bude následně aplikován ve výzkumné části diplomové práce.

Pojem simulace je velmi často spojován s určováním kapacity tratí, resp. jednotlivých zařízení infrastruktury jako jsou staniční zhlaví, traťové koleje, staniční koleje nebo nástupiště (kolejové skupiny). Metody pro určování kapacity infrastruktury, které lze demonstrovat s odkazem na směrnici SŽDC SM124 „Zjišťování kapacity dráhy“, jsou v zásadě tři: analytické metody, separátní simulace a extenzivní simulace. Každá metoda má svá pozitiva i negativa, přičemž ne všechny metody lze využít pro kapacitní posouzení každého prvku nebo souboru prvků infrastruktury (30).

Analytické metody jsou de facto metody výpočetní, které pracují s jednotlivými vlaky a jejich jízdními dobami včetně technologických dob (provozní intervaly, následná mezidobí), pomocí nichž se výpočtem určují hodnoty jednotlivých ukazatelů a porovnávají se s limitními hodnotami. Příkladem takových ukazatelů může být např. stupeň obsazení nebo koeficient koliznosti. Vypočtené hodnoty ukazatelů bývají obvykle dále používány k vyhodnocení výsledků simulačních metod a k porovnání právě s limitní hodnotou (30).

Separátní simulace je v praxi často využívaná metoda u Správy železnic jako prostředek ke zjišťování kapacity dráhy. Separátní simulace využívá simulační model, který je z hlediska rozlišovací úrovně mezoskopický. Tento typ simulace posuzuje konkrétní zařízení infrastruktury odděleně (separátně), tedy nezávisle na okolní infrastruktuře. Obvykle tak bývají posuzovány jednotlivé traťové koleje nebo zhlaví, avšak bez širšího kontextu a vazby na infrastrukturu jako celek. Základem separátní simulace je znalost časových poloh spojů, technologických dob, priorit vlaků a pravděpodobností vzniku zpoždění, pomocí nichž je simulován provoz vlaků, kterým je přiřazováno náhodné vstupní zpoždění. Tato zpoždění v provozu způsobují konflikty, které program dle priorit je schopen řešit časovými posuny spojů, čímž vzniká další zpoždění. Toto zpoždění je nazýváno jako čekání v provozu, které je hlavním hodnotícím výstupem separátní simulace. Správa železnic využívá pro separátní simulaci vlastní program SepSim (30).

Extenzivní simulace je druh simulace, která je zaměřena na větší rozsah infrastruktury, tj. např. celou stanicí nebo trať. Tento druh simulace je vhodný pro posuzování vzájemného působení jednotlivých druhů zařízení infrastruktury, čímž umožňuje analyzovat dopady různých provozních situací v širším kontextu. Extenzivní simulace je u Správy železnic prováděna pomocí softwaru SimuT, lze však využít např. software OpenTrack nebo RailSys. Určitou

nevýhodou tohoto typu simulace může být velká časová náročnost, která velmi úzce souvisí právě s větším rozsahem modelované infrastruktury a množstvím zadávaných dat o této infrastruktuře. Vstupem extenzivní simulace je bezkonfliktní jízdní řád a znalost technologických dob. V průběhu simulace jsou jednotlivým vlakům generována náhodná vstupní zpoždění, čímž stejně jako u separátní simulace vznikají konflikty. Úlohou simulace je vyřešit vzniklé konflikty např. předjetím vlaku nižší kategorie vlakem kategorie vyšší tak, jak by bylo učiněno i v reálném provozu. Při řešení těchto konfliktů dochází k přírůstkům zpoždění, které se hodnotí pro každý vlak. Právě přírůstek zpoždění je pak hlavním hodnotícím výstupem extenzivní simulace (30).

Se znalostí těchto možných metod lze nyní zvolit vlastní přístupy k simulacím, které budou dále aplikovány. Posouzení využitelnosti odbočky Banín bude provedeno v několika variantách. Nejprve bude provedeno cílené zatěžování odbočky de facto v laboratorních podmínkách jízdami typových dvojic vlaků v jednom směru, z nichž první je vždy vlak pomalý a druhý je vlak expresní. K tomuto výzkumu budou využity dvě výše uvedené metody, a to metoda analytická a následně extenzivní simulace. Pomocí zjednodušeného analytického výpočtu bude v traťovém úseku Březová nad Svitavou – Svitavy (v obou směrech) zjišťováno, jak velké musí být mezidobí mezi 1. (pomalým) a 2. (rychlým) vlakem, aby bylo výhodné řešit jejich vzájemný konflikt předjetím pomocí odbočky Banín. Výstupy výpočtu budou následně využity jako podklad pro extenzivní simulaci, neboť výpočtem budou stanoveny zejména hraniční hodnoty intervalu mezidobí, které jsou rozhodující pro odpověď na otázku, od kdy, do kdy bude odbočka efektivně využita. Cílem simulace tak bude ověřit, resp. upřesnit přibližné výsledky výpočtů, přičemž lze předpokládat, že díky výpočtu bude možné soustředit se zejména na zmíněné hraniční hodnoty mezidobí.

V další fázi bude pomocí extenzivní simulace provedena souhrnná simulace provozu vlaků v obou směrech na základě reálného jízdního řádu s využitím náhodně generovaného vstupního zpoždění. Tím bude prověřena využitelnost odbočky Banín de facto v reálném provozu, kdy bude nutné uvažovat jak jízdu vlaků ve sledu s případnými konflikty, tak také jízdu vlaků v opačném směru, které mohou naopak ve využití odbočky pro předjíždění bránit.

Vzhledem k tomu, že snahou při výzkumu je získat komplexní pohled na danou problematiku, byla zvolena právě cesta extenzivní simulace, která využívá většího rozsahu infrastruktury. Proto byla při sestavě modelu věnována pozornost většímu úseku trati mezi stanicemi Skalice nad Svitavou – Česká Třebová, jehož součástí je posuzovaný mezistaniční úsek Březová nad Svitavou – Svitavy s odbočkou Banín. Postup tvorby modelu trati a následné provádění simulací včetně popisu analytického výpočtu jsou uvedeny v následujících kapitolách 2 a 3.

2 Model

Tato kapitola slouží k základnímu seznámení s problematikou modelování v dopravě, na jejímž základě byl vytvořen simulační model části železniční trati mezi stanicemi Skalice nad Svitavou a Česká Třebová v softwaru OpenTrack. Dříve než bude popsán konkrétní model, použitý ve výzkumné části této práce, je třeba stručně vysvětlit základní pojmy, jako je model a modelování.

Model lze chápat jako idealizovanou (záměrně zjednodušenou) napodobeninu části reálného světa, tj. např. dopravního systému, železniční trati, stanice apod. Záměrné zjednodušení modelu spočívá v zahrnutí jen těch aspektů reality, které jsou pro daný řešený problém relevantní. Příkladem takového zjednodušení může být např. nezahrnutí manipulačních kolejí do modelu železniční stanice, resp. trati, pakliže záměrem je simulace jízd vlaků, které mohou využívat pouze koleje dopravní. Naopak parametry a součásti modelu, které jsou pro účely daného výzkumu nezbytné (např. přesné vzdálenosti mezi prvky infrastruktury, sklonové poměry, traťová rychlost apod.), je třeba v modelu zachovat v podobě odpovídající realitě. Právě tento postup byl uplatněn i v modelu vytvořeném pro tuto diplomovou práci, který lze charakterizovat jako simulační, mikroskopický, deterministický, stochastický i matematický s počítačovou podporou, příp. dle terminologie směrnice SM 124 jako extenzivní simulaci (31).

Modelování je výzkumná technika, která pomocí modelu nahrazuje zkoumaný reálný systém a využívá model k získání informací o tomto systému. Důvodem k použití modelu může být např. posouzení různých variant navrhovaných řešení před jejich zavedením do praxe. Model železniční trati Skalice nad Svitavou – Česká Třebová byl vytvořen z důvodu posouzení účelnosti a využitelnosti plánované odbočky Banín v úseku Březová nad Svitavou – Svitavy při standardním provozu bez výluk. Výsledky modelování lze následně využít např. pro podporu rozhodování o aplikaci zkoumaného řešení nebo o případné změně některých parametrů (např. nová koncepce JŘ, zvýšení počtu vlaků, plánované předjíždění v úseku s odbočkou) (31).

2.1 Obecný postup modelování v programu OpenTrack

Za účelem tvorby modelu úseku trati mezi stanicemi Skalice nad Svitavou a Česká Třebová a následného provádění simulací byl zvolen švýcarský program OpenTrack. Tento software vznikl již v 90. letech 20. století za účelem podpory modelování železničního provozu pomocí simulací a je postupně rozšiřován. OpenTrack je dnes velmi rozšířeným simulačním nástrojem, který využívají jak subjekty z reálného provozu (manažeři infrastruktury, železniční podniky atp.), tak také vzdělávací instituce, jako např. Dopravní fakulta Jana Pernera, díky čemuž mohl být software využit pro výzkum v rámci této diplomové práce (32).

Tvorba modelu v programu OpenTrack sestává ze tří základních vstupních oblastí:

- infrastruktura,
- vozidla,
- jízdní řády.

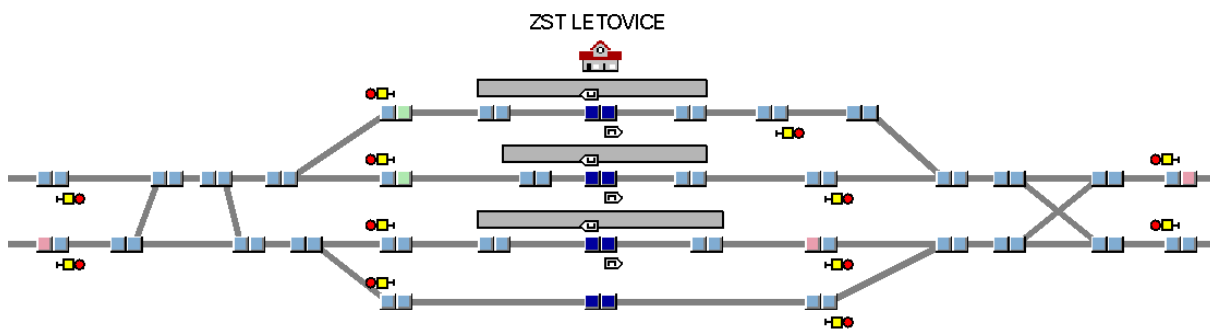
2.1.1 Infrastruktura

Vytvoření infrastruktury modelované dopravní sítě patří mezi časově nejnáročnější činnosti v rámci procesu tvorby modelu. Dopravní síť vychází z podstaty teorie grafů, kdy je popsána pomocí vrcholů a hran, které jsou stanoveným způsobem ohodnoceny, tzn. jsou jim definovány parametry odpovídající reálným parametrům skutečné infrastruktury.

Vrcholy jsou interpretovány pomocí tzv. dvojbodů, které představují buď polohu umístění důležitého prvku infrastruktury (návestidlo, výhybka, začátek/konec nástupiště, výpravní budova atd.), nebo místo rozhodující pro změnu parametrů sítě (traťová rychlost, sklonové a směrové poměry apod.). Každý dvojbod je definován kilometrickou polohou.

Jednotlivé dvojbody jsou spojovány hranami, které vyjadřují dílčí úseky modelované dopravní sítě. Pro každou hranu lze definovat traťovou rychlost, sklon, poloměr oblouku, informaci o tom, zda jde o úsek v tunelu, apod. Délka hrany je automaticky vypočtena na základě zadaných kilometrických poloh dvojbodů, které jsou touto hranou spojeny.

Další podstatnou částí modelu jsou jednotlivá návestidla, která se přiřazují k příslušným dvojbodům podle jejich kilometrické polohy. Návestidla lze volit podle jejich typu (vjezdová, odjezdová, oddílová atd.) a dále přesněji definovat např. z pohledu rychlosti v obvodu výhybek přilehlých k tomuto návestidlu, dohlednosti, funkce předvěstění následujícího návestidla apod. Mezi návestní body patří mj. také prvky pro označení nástupiště. Názornou podobu vytvořené infrastruktury v softwaru OpenTrack lze demonstrovat na obrázku 13 pomocí modelu železniční stanice Letovice, která je součástí autorem modelované trati.



Obrázek 13: Model železniční stanice Letovice

Zdroj: Autor

Dalším důležitým krokem modelování infrastruktury je tvorba vlakových cest. Postup zahrnuje tři fáze, z nichž první spočívá ve výběru vlakových cest od jednoho návěstidla k následujícímu (tzv. „Routes“), následně se tyto vlakové cesty propojí pomocí tzv. „Paths“ (např. dojde k vytvoření vlakové cesty od odjezdového návěstidla k vjezdovému návěstidlu následující stanice), a na závěr se tyto cesty spojí v tzv. „Itinerary“ (itineráře, trasy vlaku), čímž je možné vytvořit souvislou trasu vlaku např. od začátku trati na její konec.

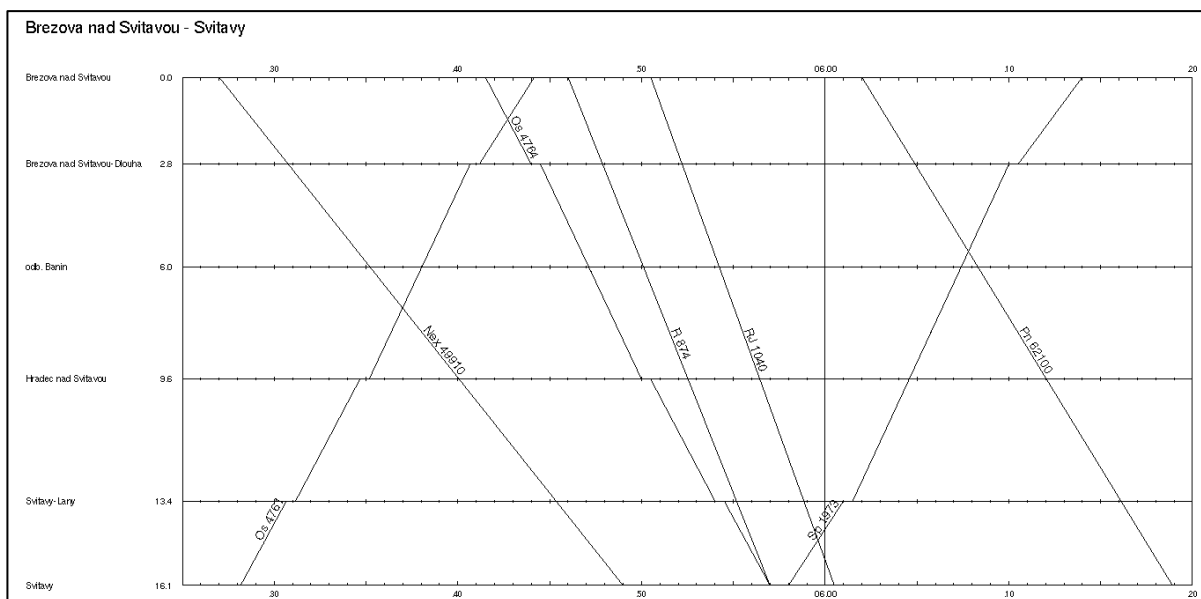
2.1.2 Vozidla

Druhým vstupem, bez kterého nelze provádět simulace, jsou vozidla. Lze buď pracovat s již zadanými hnacími vozidly a vozy, nebo je možné si vozidla ručně nadefinovat dle potřeby. V autorem vytvořeném modelu železniční trati jsou využity oba přístupy, je tedy pracováno jak s vozidly z dostupné databáze vozidel (např. vozidla řady 362 nebo 814), tak také s ručně definovanými vozidly (např. lokomotivy s uživatelsky nastavenou konstrukční rychlostí pro následné simulace jízdy pomalých vlaků). Z jednotlivých vozidel jsou následně tvořeny vlaky, jejichž parametry je třeba dále specifikovat, tzn. definovat typ vlaku a jeho kategorii, vozidlový odpor, zrychlení apod.

2.1.3 Jízdní řády

Pro sestavené vlaky lze v dalším kroku vytvořit jízdní řády. Základem je přiřazení itineráře (trasy) pro konkrétní vlak, přičemž jednotlivým vlakům může být přiřazeno více itinerářů s určením jejich priorit. V jízdním řádu lze nastavit, jaké stanice (zastávky) budou obsluhovány, délky pobytů, časy příjezdů a odjezdů. Lze také nastavit např. vstupní rychlost vlaku do simulované oblasti nebo duplikovat již zadané vlaky pomocí intervalu, což je výhodné např. v taktovém jízdním řádu, kde tímto není nutné zadávat každý vlak zvlášť. Po vytvoření jízdních řádů jednotlivým vlakům lze např. zobrazit jejich časové polohy v nákresném jízdním řádu (dále jen NJŘ). S časovými polohami vlaků lze v NJŘ ručně pohybovat a upravovat tak jejich rozmístění i případné pobyty ve stanicích a zastávkách.

Možnou podobu NJŘ lze demonstrovat pomocí obrázku 14, který znázorňuje příklad NJŘ vytvořeného na modelované trati v úseku Březová nad Svitavou – Svitavy. V levé části jsou vyznačeny jednotlivé zastávky a stanice, resp. odbočka, s příslušnou kilometrickou polohou. V horní části je časová osa v minutových jednotkách. Hlavní plocha NJŘ zobrazuje jednotlivé časové rozložení tras vlaků v daném úseku trati.



Obrázek 14: Ukázka nákrešného jízdního řádu v programu OpenTrack

Zdroj: Autor

2.1.4 Provádění simulačních scénářů

Po zadání veškerých potřebných vstupů lze přistoupit k samotným simulacím. Simulace lze provádět dvěma způsoby, a to deterministicky nebo stochasticky. Deterministický způsob spočívá v provádění uživatelem předem nastavených simulačních scénářů na základě konkrétních vstupních hodnot (zvolené, dané výpočtem apod.) bez náhodných vlivů. Takto lze například simulovat železniční provoz na základě předem stanoveného jízdního řádu bez uvažování náhodně vzniklých poruch, zpoždění, mimořádných křižování, předjíždění, například s cílem ověřit časovou bezkonfliktnost sestaveného (zadaného) jízdního řádu. Deterministická simulace přinese za stejných podmínek stejné výsledky simulačních experimentů, tzn., že je možné provádět daný experiment opakovaně a získat totožné výsledky. Deterministická simulace zahrnuje také možnost prověření konkrétní provozní situace s ručně zadanými hodnotami vstupního zpoždění, čímž lze např. ověřit zvládnutí provozní situace (např. zpozdí-li se osobní vlak o 5 minut, bude nutné jej předjet následným vlakem kategorie Ex již v žst. Svitavy, nebo až na odbočce Banín?) (33).

Stochastický způsob v každém experimentu náhodně generuje hodnoty vstupních veličin, čímž se dosahuje modelování náhodného působení vnějších vlivů. Pro komplexnější obraz o provozní situaci nejsou provozní parametry hodnoceny podle jedné situace, ale na základě množiny opakování dané situace s takto stochasticky vygenerovanými hodnotami vstupů. Jednotlivá opakování jsou někdy označována jako replikace. V reálném provozu i v sestaveném modelu lze toto vysvětlit na příkladu opakování provozu tak, jako by se střídaly jednotlivé dny,

po které platí stejný jízdní řád, ale hodnoty zpoždění jednotlivých vlaků (případně hodnoty jiných stochasticky generovaných vstupů) mohou být každý den jiné. U stochastických simulací je třeba provádět dostatečný počet opakování, aby mohly být výsledky považovány za průkazné (33).

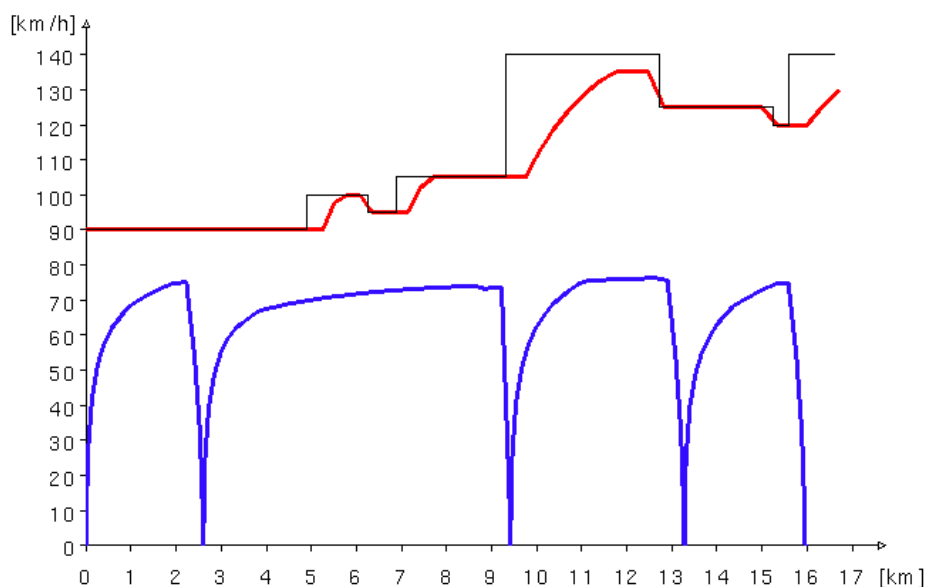
Příkladem možných simulačních úloh, které lze provádět v softwaru OpenTrack v rámci modelování železniční dopravy, může být:

- kapacitní posouzení staničních kolejí nebo nástupišť,
- kapacitní posouzení traťových kolejí,
- ověření provozního konceptu a jeho vlivu na stabilitu jízdního řádu,
- ověření provozního konceptu při výluce části infrastruktury,
- analýza vlastností hnacích vozidel,
- posouzení vhodnosti hnacího vozidla na daný výkon,
- posouzení jednotlivých druhů zabezpečovacího zařízení a jejich vlivu na provoz,
- posouzení účelnosti daného prvku infrastruktury (nová výhybka, třetí kolej, odbočka).

Právě poslední bod z výše vyjmenovaných možných úloh k simulování je předmětem této diplomové práce. Prvkem infrastruktury, který je předmětem posouzení jeho účelnosti, bude plánovaná odbočka Banín v úseku Březová nad Svitavou – Svitavy. Rozsah a konfigurace ostatní infrastruktury (trať Skalice nad Svitavou – Česká Třebová) odpovídá současné podobě trati, do které je zakomponována zmíněná nová odbočka. Pomocí jednotlivých simulačních scénářů bude zkoumáno, zda je zřízení této odbočky účelné a využitelné pro řešení dopravních situací, které nastávají v běžném provozu mimo období výluk.

2.1.5 Výstupy

Průběh simulace lze sledovat prostřednictvím grafického zobrazení pohybu jednotlivých dopravních elementů, resp. kompletů po modelované dopravní síti v reálném čase. Pro získání konkrétních údajů (časové údaje, zpoždění, obsazení kolejí apod.) slouží souhrnná výstupní data, která jsou v programu OpenTrack zobrazena pomocí nákrešných jízdních řádů, grafů, plánů obsazení kolejí a dalších statistických údajů. Nákrešné jízdní řády umožňují porovnat skutečný průběh jízdy jednotlivých vlaků s jejich jízdním řádem stanovenou časovou polohou, včetně zobrazení konfliktů. Grafy zachycují např. závislost rychlosti na ujeté dráze, dráhy na čase, nebo závislost spotřeby trakční energie na ujeté dráze. Pro technologii staničních operací lze využít plán obsazení kolejí včetně dalších statistických údajů např. o zpoždění apod. Příklad jednoho z možných výstupů znázorňuje obrázek 15, na kterém je graf závislosti rychlosti na ujeté dráze.



Obrázek 15: Dráhový tachogram dvojice vlaků

Zdroj: Autor

Na obrázku 15 je znázorněn tzv. dráhový tachogram, který zobrazuje průběh rychlosti dvou vlaků v závislosti na ujeté dráze. Pro tento příklad byl využit mezistaniční úsek Březová nad Svitavou – Svitavy. Modrá křivka vyjadřuje průběh rychlosti motorového osobního vlaku, který v daném úseku zastavuje na 3 mezilehlých zastávkách. Červená křivka znázorňuje jízdu expresního vlaku, který daný úsek projíždí. Kromě skutečného průběhu rychlosti je v grafu také statický rychlostní profil znázorněný černou čarou v horní části. Lze pozorovat, že osobní vlak nedosahuje traťové rychlosti, naopak expresní vlak traťovou rychlost využívá v téměř celé trase.

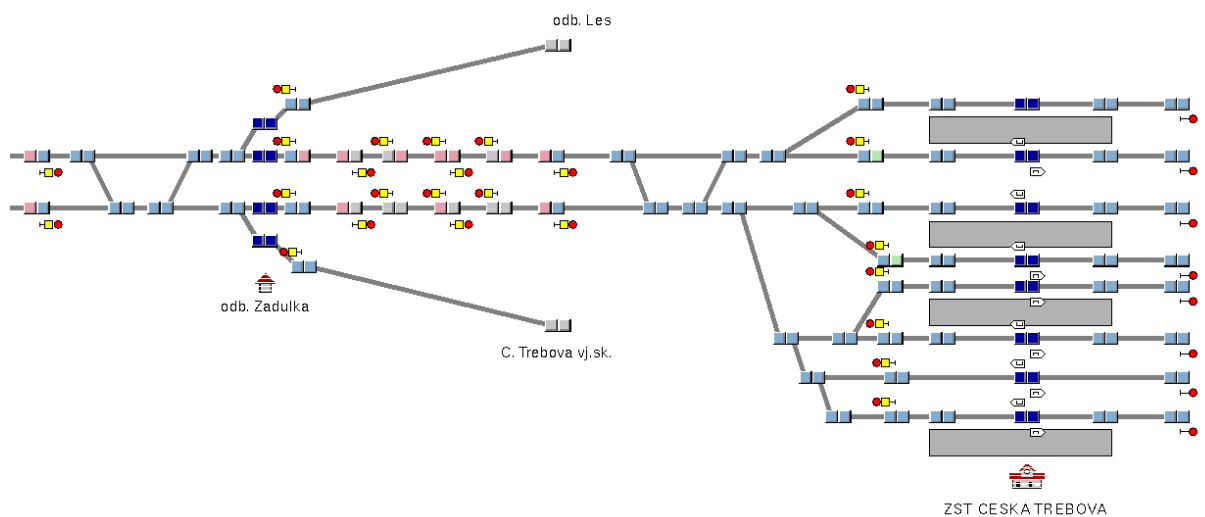
Dalším podstatným výstupem simulací jsou jednotlivé statistické výstupy v tabulkové formě (formát .txt nebo .csv), které poskytují detailní rozbor např. jízdního řádu jednotlivých vlaků, průběh jízdy z hlediska volby staničních/traťových kolejí a další. Takto lze např. analyzovat, zda byla využita odbočka Banín pro jízdu na nesprávnou kolej pomocí výstupního souboru „Course Statistics“.

2.2 Model traťového úseku Skalice nad Svitavou – Česká Třebová

Na základě výše popsaného postupu modelování v softwaru OpenTrack byl vytvořen model traťového úseku Skalice nad Svitavou – Česká Třebová, který se nachází na 1. tranzitním koridoru na trati č. 260 spojující Brno a Českou Třebovou. Tento úsek byl zvolen z důvodu umístění v budoucnu plánované odbočky Banín mezi stanicemi Březová nad Svitavou a Svitavy, která bude předmětem zkoumání v rámci simulačních scénářů. Odbočka Banín byla blíže popsána v kapitole 1.1.5, na jejímž základě byl následně vytvořen její model.

Model zahrnuje 54 km dvoukolejně železniční trati, na které se nachází 6 železničních stanic, 10 zastávek a 2 odbočky. Začátek trati je tvořen vjezdovými návěstidly žst. Skalice nad Svitavou (směrem od Brna), konec trati tvoří odjezdová návěstidla žst. Česká Třebová (osobní nádraží). Jednotlivé železniční stanice byly v rámci zjednodušení modelovány bez manipulačních kolejí, tzn. byly uvažovány pouze dopravní koleje, které mají význam pro simulaci jízd vlaků. Z toho důvodu není v rámci simulačních scénářů prováděn žádný posun, tj. například objíždění soupravy hnacím vozidlem v obrátové stanici, manipulace s vozy u nákladních (manipulačních) vlaků.

K dalšímu zjednodušení bylo přistoupeno v žst. Česká Třebová, kde byly zahrnuty pouze staniční koleje osobního nádraží (tj. koleje č. 16, 14, 12, 8, 6, 2, 1 a 5). Koleje v odjezdové skupině, spojovací koleje ani další obvody seřaďovacího nádraží (vjezdová skupina, svázný pahrbek a směrová skupina) nebyly uvažovány, neboť pro simulaci jízd vlaků přes odbočku Banín nemá rozhodující význam, zda daný vlak je v České Třebové veden do osobního nádraží nebo do odjezdové skupiny přes vjezdovou skupinu. Veškerý provoz tak bude simulován jako končící/výchozí v osobním nádraží žst. Česká Třebová. Takto zjednodušené kolejiště má dostatečnou kapacitu pro to, aby zde fiktivně končící/výchozí vlaky mohly využívat předmětný traťový úsek (Březová nad Svitavou – Svitavy) bez systematické tvorby zpoždění nebo jiných výsledky ovlivňujících aspektů spojených se zjednodušeným pojetím ukončení trati. Podobu žst. Česká Třebová a navazujících úseků směr odbočka Zádulka znázorňuje obrázek 16.



Obrázek 16: Model žst. Česká Třebová a přilehlých úseků

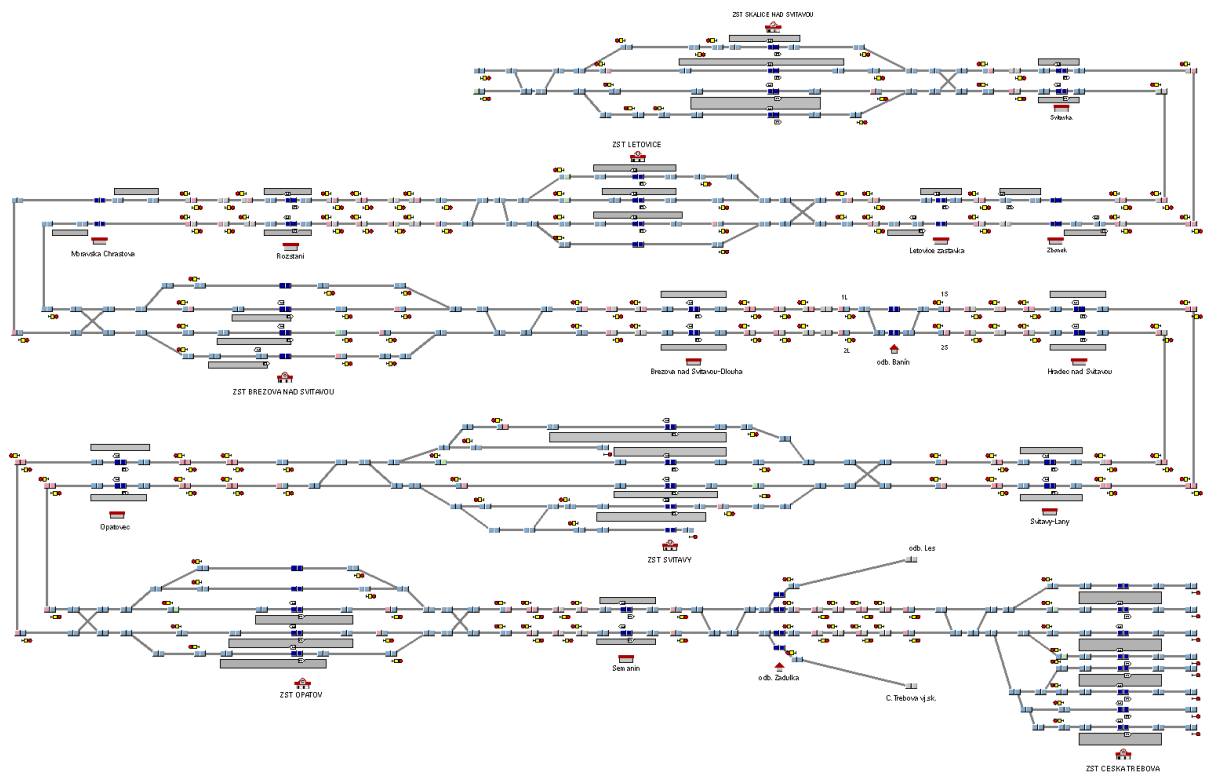
Zdroj: Autor

Pouze pro názornost je z/do odbočky Zádulka zaústěna i traťová kolej směr Česká Třebová vjezdová skupina a traťová kolej č. 3 směr odbočka Les (kolej sloužící pro odjíždějící vlaky z žst.

Česká Třebová odjezdová skupina po traťové koleji č. 200, přičemž odb. Les slouží k rozdělení trati na směr Třebovice v Čechách (trať č. 270) a směr odb. Zádulka a Opatov (trať č. 260). Obě traťové koleje nebudou v rámci simulací využívány.

Poloha jednotlivých prvků (návestidla, výhybky, začátky/konce nástupišť, výpravní budovy) je modelována v reálné kilometrické poloze s přesností na 3 desetinná místa na základě údajů z tabulek traťových poměrů (dále jen TTP) a plánků jednotlivých stanic. Díky tomu jsou v modelu zachovány reálné vzdálenosti mezi prvky infrastruktury, tzn. například reálné délky kolejí, traťových oddílů apod. (13).

Na základě reálných parametrů jsou v modelu nastaveny hodnoty sklonových poměrů, které při simulaci budou mít zásadní vliv na dynamiku jízdy jednotlivých vlaků, čímž mohou ovlivňovat využití právě zmíněné odbočky Banín. Směrové poměry a z nich plynoucí jízdní odpory nejsou v modelu uvažovány. Výslednou podobu modelu trati znázorňuje obrázek 17. Pro lepší čitelnost je podoba modelu ve větším měřítku znázorněna v příloze A.



Obrázek 17: Model traťového úseku Skalice nad Svitavou – Česká Třebová

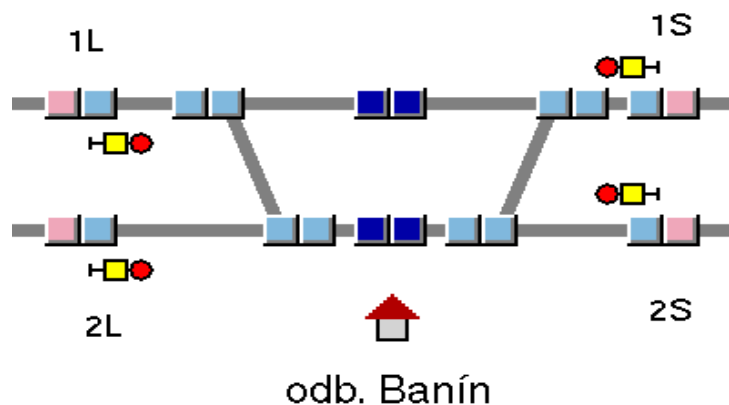
Zdroj: Autor na podkladě (13)

Na obrázku 17 lze pozorovat grafické znázornění modelu železniční trati v programu OpenTrack. Z obrázku jsou patrné jednotlivé dvojbodky a hrany, u příslušných dvojbodků jsou umístěna návěstidla. Dalším prvkem jsou staniční budovy a zastávky, resp. obslužná pracoviště

odboček. Tmavě šedými obdélníky jsou znázorněna jednotlivá nástupiště ve stanicích a zastávkách. Směřování trati je v modelu situováno tak, že celá trať není za sebou v jedné řadě, ale dochází k zalomení a pokračování o úroveň níž v opačném směru. Jedná se o v daném nástroji běžné zobrazení, které odpovídá autorem využívané podobě a usnadňuje tak práci s modelem při simulacích.

2.2.1 Model odbočky Banín

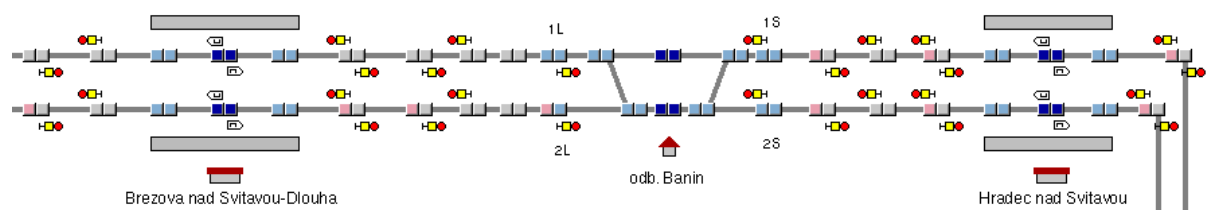
Součástí modelované trati je odbočka Banín v mezistaničním úseku Březová nad Svitavou – Svitavy. Odbočka je situována mezi zastávkami Březová nad Svitavou-Dlouhá a Hradec nad Svitavou v km 219,256. Kilometrická poloha odbočky i jejích dalších prvků byla z důvodu nedostupnosti informací autorem zvolena na základě znalosti původního umístění výhybny (a později hradla) Banín s ohledem na dodržení požadované zábrzdné vzdálenosti a konfiguraci současného automatického bloku. Model odbočky zahrnuje vjezdová návěstidla 1L, 2L, 1S a 2S, dále čtyři jednoduché výhybky ve dvou kolejových spojkách (ve směru od začátku trati nejprve spojka pravá, následně spojka levá). Vjezdová návěstidla 1L a 2L se nachází v kilometru 218,795, vjezdová návěstidla 1S a 2S se nachází v kilometru 219,677. Celková délka odbočky (vzdálenost vjezdových návěstidel) činí 882 m. Podobu odbočky v modelu znázorňuje obrázek 18.



Obrázek 18: Model odbočky Banín

Zdroj: Autor na podkladě (13)

Polohu odbočky v modelovaném úseku mezi zastávkami Březová nad Svitavou-Dlouhá a Hradec nad Svitavou znázorňuje obrázek 19.



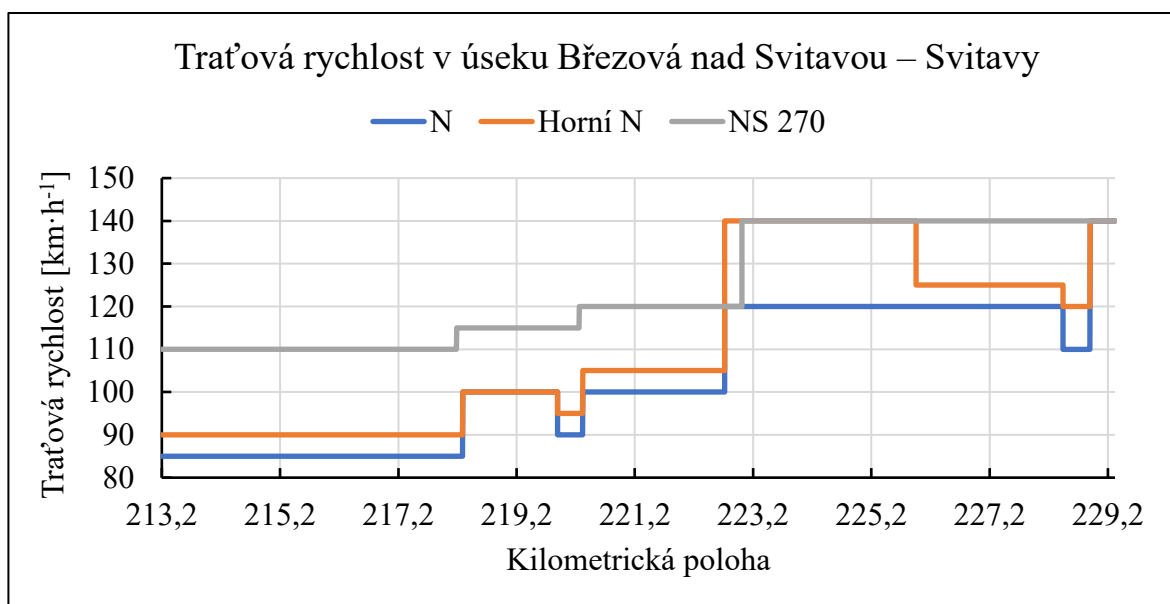
Obrázek 19: Poloha odbočky Banín v úseku mezi zastávkami

Zdroj: Autor na podkladě (13)

Odbočka se nachází v úseku s traťovou rychlostí $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, přičemž stejná rychlost je definována také pro výhybky, resp. vlakové cesty využívající kolejové spojky pro jízdu z jedné traťové koleje na druhou. Jízda do odbočného směru tak nezpůsobí snížení rychlosti.

Významným parametrem mezistaničního úseku s odbočkou je stoupání ve směru od žst. Březová nad Svitavou do žst. Svitavy, které v některých místech dosahuje až 10 ‰, přičemž průměrná hodnota pro celý mezistaniční úsek činí cca 7,7 ‰ (13).

V mezistaničním úseku se nachází 11 traťových oddílů automatického bloku, přičemž mezi stanicí Březová nad Svitavou a odbočkou Banín se nachází 4 oddíly a mezi odbočkou a žst. Svitavy 7 oddílů. Z toho plyne, že odbočka není umístěna v polovině úseku, ale dělí úsek na části přibližně o délce 6 a 10 km. Delší 10 km dlouhá část připadá na úsek s vyšší traťovou rychlostí, která se zde pohybuje v rozmezí od $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do $140 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, zatímco 6 km dlouhý úsek mezi odbočkou a žst. Březová nad Svitavou umožňuje rychlost od $85 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Průběh traťové rychlosti lze zobrazit v grafu pomocí tzv. statického rychlostního profilu, který je na obrázku 20 (18).



Obrázek 20: Statický rychlostní profil v úseku Březová nad Svitavou – Svitavy

Zdroj: Autor na podkladě (18)

Na obrázku 20 jsou znázorněny tři varianty traťové rychlosti, které jsou barevně odlišeny. Modrá barva představuje traťovou rychlost navěstěnou pomocí rychlostníků N. Oranžově je znázorněn průběh traťové rychlosti pro vozidla jedoucí podle tzv. horních rychlostníků N, tzn. pro vozidla schopná průjezdu obloukem při působení nedostatku převýšení alespoň 130 mm. Šedou barvou je vyznačena traťová rychlost pro vozidla s naklápečí skříní, tedy v podmínkách české železnice platné pro elektrické jednotky řady 680 „Pendolino“.

3 Simulace a její výsledky

Simulace je výzkumná technika, která reálný systém nahrazuje jeho modelem, na kterém je pomocí experimentů zjišťováno, jak se bude systém chovat v konkrétní situaci. Simulační experiment představuje konkrétní operaci s modelem, při které se prověřuje chování systému za daných podmínek. Jinými slovy, předmětem simulačního experimentu je prověřit, jak daný systém reaguje na zadané vstupní parametry, tzn. jsou sledovány výstupní hodnoty v reakci na vstupní proměnné. Pomocí experimentu lze získat odpovědi na otázku: „Co se stane, když...“. Pokud je daný experiment prováděn opakovaně např. s využitím náhodných vstupů, jsou jednotlivé pokusy nazývány slovem „replikace“. Jednotlivé experimenty probíhají podle tzv. simulačního scénáře, který určuje celkové podmínky a určuje chod simulace. Simulační scénář je určen např. vstupními veličinami, infrastrukturou modelu, způsobem rozhodování a organizace práce, způsobem řízení provozu atd. Scénář tak může nabývat různých podob v závislosti na prověřované situaci, tzn. v jednom scénáři mohou být např. vstupní hodnoty zpoždění generovány náhodně, přičemž může být simulován provoz pouze po jedné koleji ze dvou s využitím jízdy v mezistaničním oddílu bez uvažování priorit vlaků. Jiný scénář může např. zahrnovat pouze pevně (deterministicky) zadané vstupní hodnoty, provoz může být uskutečňován po obou traťových kolejích bez omezení v traťových oddílech při současném zohlednění priorit vlaků např. na základě jejich kategorií (33).

Po provedení simulací je nezbytné vyhodnotit jejich výsledky. Obvykle je obtížné zachytit veškeré možné situace, které by mohly v systému nastat, proto nelze výsledky považovat za obecně platné, ale spíše za partikulární. Zobecnění výsledků simulací je závislé např. na počtu replikací, počtu simulačních scénářů, množinách konkrétních vstupních hodnot jednotlivých veličin, přesnosti modelované infrastruktury apod.

3.1 Simulace cíleného zatěžování odbočky Banín dvojicemi vlaků

Výzkum využitelnosti odbočky Banín pro předjíždění vlaků je nejprve proveden pomocí tzv. cíleného zatěžování odbočky Banín jednosměrným provozem typových dvojic vlaků (de facto v laboratorních podmínkách, bez uvažování vlaků v opačném směru). V dané dvojici je vždy 1. vlak pomalý (např. zastavující osobní vlak, nákladní vlak) a 2. vlak rychlý (expresní vlak). Základem tohoto výzkumu je analytický výpočet hodnot intervalů mezidobí, při kterých dochází k efektivnímu využití odbočky Banín pro předjíždění. Výpočet, který je proveden pomocí tabulkového procesoru Excel, slouží jako podpora (a příp. nástroj kalibrace výsledků) pro následně prováděnou deterministickou simulaci obdobných dvojic vlaků na vytvořeném modelu

trati v softwaru OpenTrack. Výpočet i simulace jsou provedeny nejprve ve směru do žst. Svitavy, poté ve směru do žst. Březová nad Svitavou. Výsledky z obou metod jsou následně porovnány.

3.1.1 Výpočet mezdobí pro využití odb. Banín ve směru Svitavy

Výpočet je založen na postupu zmíněném v kapitole 1.2, kdy pomocí volby rychlosti 1. nebo 2. vlaku dochází k určení intervalu mezdobí (pásma efektivního vstupu), ve kterém je výhodné, aby 2. vlak vstoupil do mezistaničního úseku za účelem předjetí 1. vlaku po nesprávné koleji mezi odbočkou a přední stanicí. Zatímco v kapitole 1.2 byl proveden obecný výpočet bez vazby na konkrétní trať, zde je zohledněn reálný rychlostní profil úseku Březová nad Svitavou – Svitavy s přesným určením kilometrických poloh a dodržení jízdy v traťových oddílech automatického bloku. Podstatným výsledkem výpočtů pro simulaci jsou hraniční hodnoty mezdobí pro konkrétní typové dvojice vlaků. Hraniční hodnoty stanoví, od/do kterého okamžiku by mělo docházet k efektivnímu využívání odbočky pro předjíždění (nedojde-li ke konfliktu s vlakem v opačném směru), tzn., že následnou simulací bude třeba ověřit zejména konkrétní dvojice vlaků při mezdobí ve výši vypočtených hraničních hodnot a hodnot jim blízkých. Mezdobí, které nespadá do vypočteného intervalu, určuje dobu, kdy odbočka nebude využita. V rámci simulace je ale vhodné tyto hodnoty mimo interval také ověřit.

Výpočet je proveden ve dvou typových variantách, kdy první z nich uvažuje jízdu 1. vlaku v podobě osobního vlaku obsluhujícího mezilehlé zastávky, 2. vlak je projíždějící expresní vlak, který v celém úseku dosahuje traťové rychlosti. Druhá typová varianta výpočtu uvažuje 1. vlak projíždějící s variantami rychlosti od 40 do 100 km·h⁻¹ (např. nákladní vlak), 2. vlak je opět expres dosahující traťové rychlosti v celém úseku. Pomocí výpočtu jízdních dob jsou stanoveny časové okamžiky obsazení/uvolnění jednotlivých traťových oddílů a na jejich základě následně určováno, v kterém okamžiku do mezistaničního úseku vstoupí 2. vlak (tj. při jaké hodnotě mezdobí). Pro každou variantu vstupu 2. vlaku je poté rozhodnuto, zda vzhledem k času dojezdu na odbočku a do přední stanice v porovnání s 1. vlakem dojde k předjetí s využitím odbočky a nesprávné koleje. Výsledkem výpočtu jsou vždy 3 varianty řešení nastalé dopravní situace:

- a) 2. vlak je veden po nesprávné koleji již ze zadní stanice,
- b) 2. vlak je veden po nesprávné koleji z odbočky do přední stanice,
- c) 2. vlak je veden po správné koleji v celém mezistaničním úseku.

Výpočet tak pro každou hodnotu mezidobí posuzuje 2 základní otázky, pomocí nichž určuje, která z výše uvedených možností řešení bude zvolena:

1. Dojel by při tomto mezidobí 2. vlak na odbočku dříve než 1. vlak?
 - a. ANO → jízda 2. vlaku po nesprávné koleji již ze zadní stanice (výpočet končí)
 - b. NE → jízda 2. vlaku po správné koleji ze zadní stanice na odbočku (výpočet pokračuje otázkou 2)
2. Dojel by při tomto mezidobí 2. vlak do přední stanice dříve než 1. vlak?
 - a. ANO → jízda 2. vlaku po nesprávné koleji mezi odbočkou a přední stanicí (výpočet končí)
 - b. NE → jízda 2. vlaku po správné koleji mezi odbočkou a přední stanicí (výpočet končí)

Na základě těchto otázek a odpovědí lze pomocí tabulky 9 znázornit algoritmus, na jehož základě je ve výpočtu rozhodováno o způsobu vedení 2. vlaku v závislosti na daném mezidobí.

Tabulka 9: Popis rozhodování algoritmu v analytickém výpočtu

	Otázka č. 1	Otázka č. 2	Varianta řešení
Odpověď	ANO	-	a) po nesprávné koleji již ze zadní stanice
	NE	ANO	b) po nesprávné koleji z odbočky do přední stanice
	NE	NE	c) po správné koleji v celém mezistaničním úseku

Zdroj: Autor

Pro oba vlaky je uvažováno shodné zrychlení, resp. zpomalení v hodnotě $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, přičemž do výpočtu nejsou zahrnuty vlivy sklonových a směrových poměrů a případné snížení rychlosti přes výhybky ve stanicích, proto je třeba výpočet považovat za zjednodušený. I vzhledem k tomuto zjednodušení je třeba počítat s odchylkami, proto je vhodné v následné simulaci posuzovat jak hraniční hodnoty, tak také hodnoty v širším rozsahu. Výsledky výpočtu pro typovou dvojici Os × Ex ve směru do žst. Svitavy lze shrnout v tabulce 10.

Tabulka 10: Výpočet mezidobí pro typovou dvojici Os × Ex směr Svitavy

Mezidobí [min]		Délka intervalu mezidobí [min]	Způsob jízdy 2. vlaku
od	do		
0	3,10	3,10	po nesprávné koleji již z žst. Březová n. S.
3,11	8,48	5,37	po nesprávné koleji z odbočky Banín
8,49	16,55	9,06	po správné koleji v celém mezistaničním úseku

Zdroj: Autor

Z výpočtu pro tuto konkrétní dvojici vlaků vyplynulo, že odbočku za účelem předjíždění je výhodné využít, jestliže mezidobí mezi těmito vlaky náleží do uzavřeného intervalu od 3,11 do 8,48 min. Délka intervalu mezidobí (efektivního pásma vstupu 2. vlaku) pro využití odbočky tedy činí 5,37 minuty. Pro mezidobí menší než 3,11 min se nabízí varianta jízdy 2. vlaku na nesprávnou kolej již z Březové nad Svitavou (a jeho případný návrat na správnou kolej na odbočce Banín), pro mezidobí větší než 8,48 minut se již nevyplatí jízda po nesprávné koleji, protože 2. vlak není schopen 1. vlak předjet. Výpočet je ukončen v čase 16,55 minut po začátku, protože právě tato hodnota odpovídá délce jízdní doby osobního vlaku do žst. Svitavy. Po tomto čase není třeba situaci posuzovat, neboť bude za osobním vlakem volný celý mezistaniční úsek.

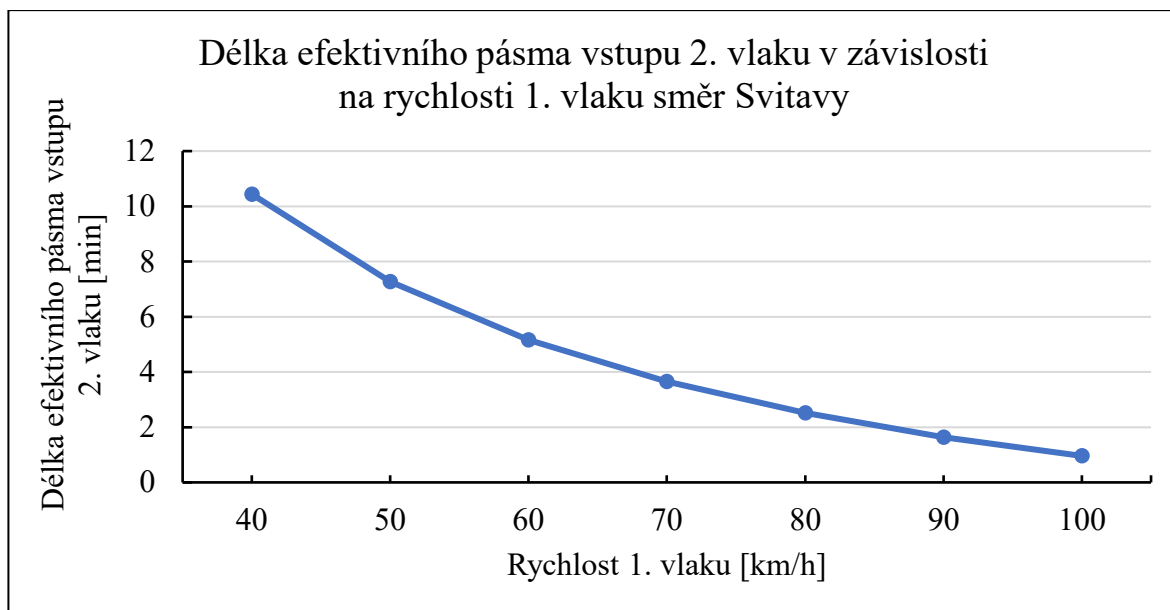
Ve druhé variantě je posouzena jízda obou vlaků projíždějících celým mezistaničním úsekem, přičemž 1. vlak je opět pomalý, avšak s variantami rychlostí od $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, 2. vlak je expresní, který v celém mezistaničním úseku využívá traťovou rychlost. Výsledkem je opět interval mezidobí pro efektivní vstup 2. vlaku do mezistaničního úseku za účelem předjíždění na odbočce Banín, který je charakteristický hraničními hodnotami a zobrazen v tabulce 11.

Tabulka 11: Závislost délky intervalu mezidobí na rychlosti 1. vlaku směr Svitavy

Rychlost 1. vlaku [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]	Mezidobí [min]		Délka intervalu mezidobí [min]
	od	do	
40	5,66	16,1	10,44
50	4,00	11,27	7,27
60	2,88	8,04	5,16
70	2,09	5,74	3,65
80	1,49	4,01	2,52
90	1,03	2,67	1,64
100	1,00	1,96	0,96

Zdroj: Autor

Hodnoty uvnitř stanoveného intervalu představují mezidobí, při kterém dojde k předjíždění dané dvojice vlaků v úseku mezi odbočkou a přední stanicí. Mezidobí, které je kratší než hodnota v 2. sloupci, opět značí možnost využití nesprávné koleje již ze zadní stanice (a případný návrat vlaku na správnou kolej na odbočce Banín), naopak hodnoty větší než ty ve 3. sloupci značí vedení 2. vlaku ve sledu za 1. vlakem po stejné (správné) koleji. Délku intervalu mezidobí (efektivního pásma vstupu 2. vlaku) v závislosti na rychlosti 1. vlaku graficky znázorňuje obrázek 21. Výsledky z tabulek 10 a 11 budou v následující kapitole porovnány s výsledky simulace.



Obrázek 21: Délka efektivního pásma vstupu 2. vlaku dle rychlosti 1. vlaku směr Svitavy

Zdroj: Autor

3.1.2 Ověření výpočtu simulací dvojic vlaků směr Svitavy

Za účelem ověření získaných výsledků z analytických výpočtů byly provedeny simulační experimenty na modelu trati v úseku Březová nad Svitavou – Svitavy. Prvním simulačním scénářem je jízda motorového osobního vlaku s jednotkou řady 814 (dále jen Os), za kterým je ve sledu vypraven expresní vlak s lokomotivou řady 362 a 5 vozy (dále jen Ex). Osobní vlak je z žst. Březová n. S. vypravován vždy po 20 minutách, přičemž zastavuje na všech zastávkách s minimálním pobytem 30 sekund. Osobní vlak má přiřazen itinerář, který je definován z žst. Březová nad Svitavou z 2. staniční koleje (dále jen SK), po 2. traťové koleji (dále jen TK) až do žst. Svitavy, kam přijíždí na 6. SK k ostrovnímu nástupišti. V žst. Svitavy je tedy veden mimo hlavní kolej do odbočného směru (výhybky umožňují rychlost $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), aby byla případně umožněna jízda za ním jedoucího vlaku Ex po hlavní (2. staniční) koleji. Vlak Ex vstupuje do simulované oblasti s počáteční rychlostí $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (traťová rychlost přes žst. Březová n. S.). V prvním kroku byl vlak Ex za tímto osobním vlakem vypraven nejdříve s mezidobím 30 sekund, v každém dalším kroku bylo mezidobí zvýšeno o 15 sekund. Celkem bylo simulací prověřeno 50 dvojic, s mezidobím od 30 sekund až po 780 sekund (tj. 13 minut). Pro vlaky Ex byly nastaveny tyto 3 itineráře:

- z 2. SK žst. Březová n. S. po 2. TK do žst. Svitavy na 2. SK (priorita č. 1),
- z 2. SK žst. Březová n. S. po 2. TK na odb. Banín, z odb. Banín po 1. TK do žst. Svitavy na 1. SK (priorita č. 2),
- z 2. SK žst. Březová n. S. po 1. TK do žst. Svitavy na 1. SK (priorita č. 3).

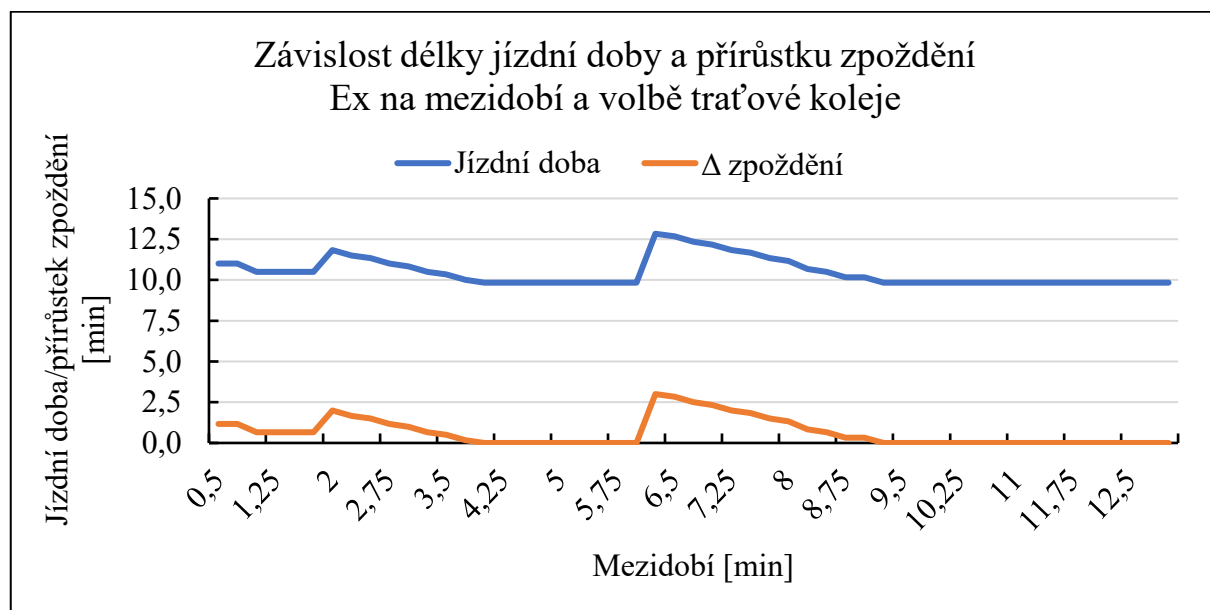
Vzhledem k složitosti a rozsahu simulace nebyl pro itinerář s prioritou č. 3 uvažován možný návrat vlaku z nesprávné koleje na odbočce zpět na správnou kolej, ale byla nastavena jízda po nesprávné koleji v celém mezistaničním úseku. V rámci tohoto scénáře nebylo uvažováno žádné vstupní zpoždění, tzn. simulace proběhla dle zadaného jízdního řádu, přičemž zpoždění, které zde vznikalo, bylo způsobeno pouze kvůli vzájemným konfliktům mezi Os a Ex. Výsledky tohoto scénáře z hlediska využití odbočky Banín pro předjíždění v závislosti na vzájemném mezidobí Os a Ex zobrazuje tabulka 12.

Tabulka 12: Výsledky simulace sledu Os a Ex směr Svitavy

Mezidobí [min]		Délka intervalu mezidobí [min]	Způsob jízdy 2. vlaku
od	do		
0,5	1,75	1,25	po nesprávné koleji již z žst. Březová n. S.
2	6	4	po nesprávné koleji z odbočky Banín
6,25	13	6,75	po správné koleji v celém mezistaničním úseku

Zdroj: Autor

Porovnáním těchto výsledků s hodnotami z analytického výpočtu (viz tabulka 10) lze pozorovat poměrně značné odchytky, které jsou dány způsobem rozhodování softwaru OpenTrack o volbě jízdní cesty. Proto je nutné výsledky demonstrovat v širším kontextu s vazbou na délku jízdní doby 2. vlaku v celém mezistaničním úseku, případně s vazbou na přírůstek zpoždění tohoto vlaku. Na obrázku 22 je znázorněn graf závislosti délky jízdní doby Ex a přírůstku jeho zpoždění na vzájemném mezidobí Os a Ex a s tím spojené volbě traťové koleje.



Obrázek 22: Závislost jízdní doby a Δ zpoždění Ex na mezidobí a volbě traťové koleje

Zdroj: Autor

Z grafu je patrné, že minimální jízdní doba při simulaci činí 9,83 min. Při mezidobí od 0,5 do 1,75 min byla volena jízda po nesprávné koleji již z žst. Březová n. S., přičemž zde došlo k prodloužení jízdní doby maximálně na 11 min, tedy o 1,17 min, což bylo způsobeno jízdou do odbočného směru v žst. Březová nad Svitavou směrem na nesprávnou kolej přes výhybky rychlostí max. $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Při mezidobí od 2 do 4 min je již simulací zvolena jízda na nesprávnou kolej z odbočky Banín, přičemž lze pozorovat nárůst zpoždění až o 2 minuty, což je způsobeno konfliktem s osobním vlakem a čekáním na uvolnění úseku mezi zadní stanicí a odbočkou. Je zřejmé, že pro eliminaci tohoto zpoždění by bylo vhodné využít nesprávnou kolej již ze zadní stanice, jako tomu bylo při mezidobí menším než 2 minuty. Mezi 4 až 6 minutami vzájemného mezidobí je odbočka pro předjíždění rovněž využita, ale v tomto případě již efektivně bez nárůstu zpoždění vlaku Ex. Od 6 do 9 min vzájemného mezidobí byla simulací zvolena jízda Ex ve sledu za Os v celém mezistaničním úseku po 2. TK, nicméně v tomto případě zde dochází ke vzniku zpoždění až 3 minuty, což je dosavadní maximum. V tomto případě tak opět nedošlo k efektivnímu vyhodnocení provozní situace, neboť je zřejmé, že v tomto časovém rozmezí by stále bylo výhodné využít odbočku Banín pro vzájemné předjetí bez nárůstu zpoždění. Od mezidobí 9,25 minut je již jízda Ex konána bez vzniklých konfliktů a přírůstků zpoždění po 2. TK bez nutnosti jízdy po nesprávné koleji.

Po celkovém shrnutí lze konstatovat, že pokud by software OpenTrack uvažoval i možné negativní dopady špatného rozhodnutí o volbě traťové koleje, byla by odbočka Banín využívána v odlišném časovém úseku vzájemného mezidobí. Pokud bude efektivní pásmo vstupu 2. vlaku z hlediska využití odbočky uvažováno pouze pro situace, kdy tímto nevzniká přírůstek zpoždění, lze výsledné hodnoty upravit do podoby znázorněné v tabulce 13.

Tabulka 13: Korekce výsledků simulace sledu Os a Ex směr Svitavy

Mezidobí [min]		Délka intervalu mezidobí [min]	Způsob jízdy 2. vlaku
od	do		
0,5	3,75	3,25	po nesprávné koleji již z žst. Březová n. S.
4	9	5	po nesprávné koleji z odbočky Banín
9,25	13	3,75	po správné koleji v celém mezistaničním úseku

Zdroj: Autor

V následujícím kroku je vhodné tyto výsledky po korekci porovnat s výsledky z obou metod, tedy jak z analytického výpočtu z tabulky 10, tak také z extenzivní simulace z tabulky 12. Pro srovnání byla sestavena tabulka 14, která přehledně zobrazuje rozdíly ve výsledcích. Lze pozorovat, že výsledky po korekci ze simulace se s drobnou odchylkou blíží k hodnotám

z analytického výpočtu. Tento závěr lze považovat za relativně průkazný, neboť je třeba brát v úvahu určitá zjednodušení v analytickém výpočtu (zanedbání stoupání, užití jednotného zrychlení/zpomalení apod.).

Tabulka 14: Porovnání výsledků mezidobí v jednotlivých metodách

Analytický výpočet		Extenzivní simulace		Korekce hodnot simulace	
Mezidobí [min]		Mezidobí [min]		Mezidobí [min]	
od	do	od	do	od	do
0	3,10	0,5	1,75	0,5	3,75
3,11	8,48	2	6	4	9
8,49	16,55	6,25	13	9,25	13

Zdroj: Autor

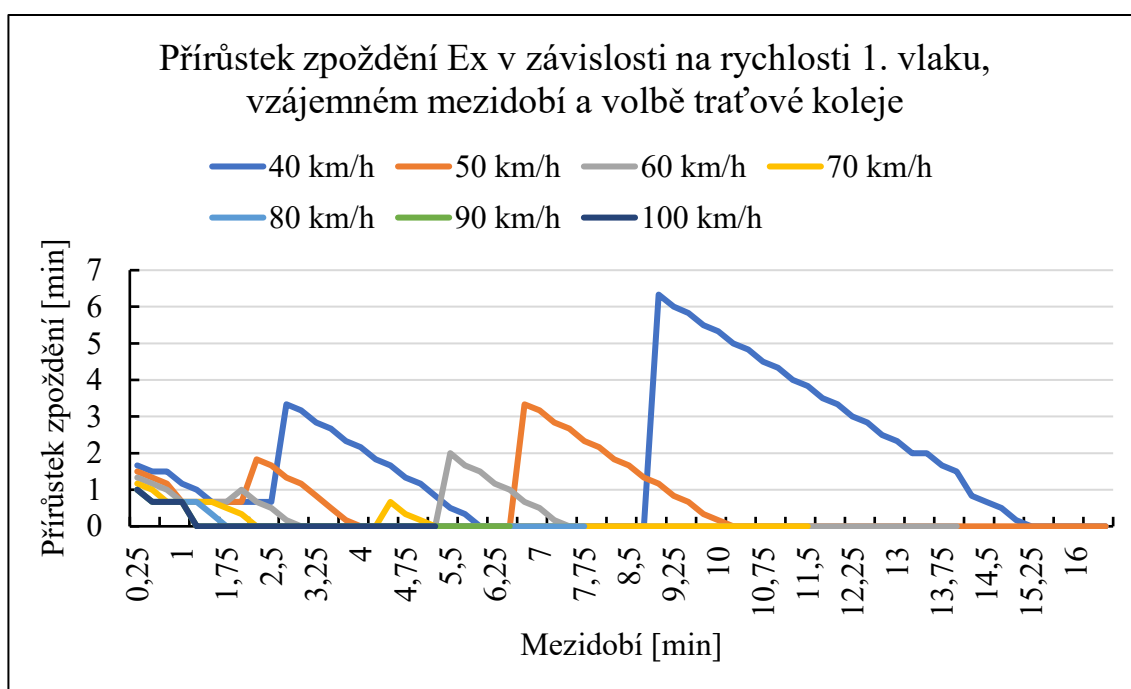
V následujícím kroku je simulací ověřen analytický výpočet pro varianty rychlostí od $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ u 1. (pomalého) vlaku a za ním jedoucího vlaku Ex, jehož parametry jsou shodné s předchozí variantou. Pro 1. vlak je definován itinerář z 2. SK žst. Březová n. S. po 2. TK do žst. Svitavy na 2. nebo 6. SK (pro vlaky do $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ včetně na 6. SK, pro vlaky nad $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ na 2. SK). Pomalý 1. vlak vstupuje do simulované oblasti již s počáteční rychlostí, tzn. je simulován v žst. Březová nad Svitavou jako projíždějící. Za ním jedoucí Ex opět vstupuje do žst. Březová n. S. s počáteční rychlostí $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Volba itinerářů pro Ex je totožná s předchozí variantou, tzn. jsou přiřazeny 3 itineráře (v celém úseku po 2. TK, z odbočky po „nesprávné“ koleji, v celém úseku po „nesprávné“ koleji) s prioritou v tomto pořadí. Pomalý 1. vlak je z Březové vypravován každých 30 minut, Ex je v prvním kroku vypraven s mezidobím 15 sekund za 1. vlakem. V každém dalším kroku je pro Ex prodlouženo mezidobí o 15 sekund. Takto bylo simulováno nejprve 65 dvojic vlaků pro rychlost 40 a $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, s rostoucí rychlostí 1. vlaku byl počet simulovaných dvojic snižován, protože u vyšších rychlostí se využitelnost odbočky pohybuje pouze při nízkých hodnotách mezidobí, tudíž není třeba prověřovat celou škálu mezidobí jako u nízkých rychlostí. Tímto způsobem byl počet dvojic od rychlosti $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ snižován na 55, 45, 30, 25, a 20. Výsledné hodnoty intervalů mezidobí, při kterém byla využita odbočka Banín pro jízdu 2. vlaku na nesprávnou kolej, jsou zobrazeny v tabulce 15.

Tabulka 15: Výsledky simulace sledu pomalého 1. vlaku a Ex směr Svitavy

Rychlost 1. vlaku [km·h ⁻¹]	Mezidobí [min]		Délka intervalu mezidobí [min]
	od	do	
40	2,5	8,75	6,25
50	2,25	6,5	4,25
60	2	5,25	3,25
70	1,75	4,25	2,5
80	1,5	3,5	2
90	1,25	3	1,75
100	1,25	3	1,75

Zdroj: Autor

Porovnáním hodnot získaných simulací s hodnotami analytického výpočtu v tabulce 11 je možné pozorovat poměrně výrazné odchylky. I v tomto případě vznikaly při simulaci situace, kdy simulační program vyhodnotil, že bude již výhodné jet ve sledu za 1. vlakem, a to buď v 1. úseku mezi zadní stanicí a odbočkou, nebo v 2. úseku mezi odbočkou a přední stanicí. Tímto rozhodnutím ale v simulaci došlo ke konfliktům a Ex zaznamenal přírůstek zpoždění, přičemž v některých případech (např. při rychlosti 40 km·h⁻¹) zpoždění dosáhlo více než 6 min. Průběh těchto nežádoucích odchylek lze znázornit grafem na obrázku 23.



Obrázek 23: Přírůstek zpoždění v závislosti na rychlosti, mezidobí a volbě traťové koleje

Zdroj: Autor

Z obrázku 23 jsou patrné jednotlivé přírůstky zpoždění pro dané varianty rychlosti 1. vlaku. Lze pozorovat, že každá varianta má v grafu 2 vrcholy, přičemž 1. vrchol v levé části je vždy způsoben předčasnou volbou jízdy po 2. TK z žst. Březová n. S. ve sledu za 1. vlakem namísto volby nesprávné koleje z této stanice pro celou trasu. Z tohoto důvodu vzniká zpoždění Ex vlivem jízdy za pomalejším 1. vlakem v úseku mezi zadní stanicí a odbočkou. Druhý vrchol je způsoben nevhodnou volbou traťové koleje v úseku mezi odbočkou a přední stanicí. Simulační program opět předčasně volí jízdu Ex ve sledu za 1. vlakem v tomto úseku, ačkoliv je to na úkor vzniku zpoždění Ex. V tomto případě by stále bylo výhodné volit jízdu 2. vlaku z odbočky na nesprávnou kolej a umožnit tak předjíždění, resp. minimálně souběžnou jízdu bez konfliktů. Z těchto důvodů je třeba výsledky opět podrobit korekcím s ohledem na přírůstky zpoždění a upravit výsledná mezidobí tak, aby byla volba nesprávné koleje z odbočky Banín vždy výhodným a efektivním řešením. Takto upravené hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 16.

Tabulka 16: Korekce výsledků simulace sledu pomalého 1. vlaku a Ex směr Svitavy

Rychlost 1. vlaku [km·h ⁻¹]	Mezidobí [min]		Délka intervalu mezidobí [min]
	od	do	
40	6	15	9
50	4	10	6
60	3	7,25	4,25
70	2,25	5	2,75
80	1,75	3,5	1,75
90	1,25	3	1,75
100	1,25	3	1,75

Zdroj: Autor

Po provedené korekci lze nyní v tabulce 17 tyto výsledky porovnat s výstupy z analytického výpočtu a s původními výsledky extenzivní simulace. Při bližším pohledu na výsledky analytického výpočtu a na výsledky simulací po korekci je patrné, že výsledky těchto dvou metod se liší s odchylkou menší než 1,5 minuty. Vzhledem k použitým zjednodušením v analytickém výpočtu a určitým nepřesnostem simulace lze minimálně část této odchylky zdůvodnit takto.

Tabulka 17: Porovnání výsledků mezidobí v jednotlivých metodách

Rychlost 1. vlaku [km·h ⁻¹]	Analytický výpočet		Extenzivní simulace		Korekce simulace	
	Mezidobí [min]		Mezidobí [min]		Mezidobí [min]	
	od	do	od	do	od	do
40	5,66	16,1	2,5	8,75	6	15
50	4,00	11,27	2,25	6,5	4	10
60	2,88	8,04	2	5,25	3	7,25
70	2,09	5,74	1,75	4,25	2,25	5
80	1,49	4,01	1,5	3,5	1,75	3,5
90	1,03	2,67	1,25	3	1,25	3
100	1,00	1,96	1,25	3	1,25	3

Zdroj: Autor

3.1.3 Výpočet mezidobí pro využití odb. Banín ve směru Březová nad Svitavou

Stejně výpočty ve dvou variantách byly provedeny i ve směru do žst. Březová nad Svitavou. Odbočka Banín je v tomto směru umístěna méně výhodně, neboť se nachází až ve druhé polovině mezistaničního úseku a současně rozděluje trať na nejprve rychlejší a následně pomalejší část, přičemž úsek za odbočkou směr Březová nad Svitavou je pomalejší s traťovou rychlostí do 100 km·h⁻¹. Lze předpokládat, že využitelnost odbočky v tomto směru (pro předjíždění mezi odbočkou a žst. Březová n. S.) bude menší než v opačném směru do Svitav. Naopak větší využitelnost může být pro předjíždění po nesprávné koleji již mezi žst. Svitavy a odb. Banín.

První varianta výpočtů opět zahrnuje typovou dvojici vlaků, z nichž první je motorový osobní vlak, vedený vozidlem řady 814 a zastavující na všech zastávkách, druhý je expresní vlak projíždějící celým úsekem s využitím maximální traťové rychlosti. Vypočtené hodnoty intervalů mezidobí jsou znázorněny v tabulce 18.

Tabulka 18: Výpočet mezidobí pro typovou dvojici Os × Ex směr Březová n. S.

Mezidobí [min]		Délka intervalu mezidobí [min]	Způsob jízdy 2. vlaku
od	do		
0	6,26	6,26	po nesprávné koleji již z žst. Svitavy
6,27	8,49	2,22	po nesprávné koleji z odbočky Banín
8,50	16,55	8,05	po správné koleji v celém mezistaničním úseku

Zdroj: Autor

Z výsledků je patrné, že pro předjíždění této typové dvojice mezi odbočkou a žst. Březová n. S. je efektivní pásmo vstupu 2. vlaku ohraničeno hodnotami z uzavřeného intervalu 6,27 až 8,49 min. Při mezidobí kratším než 6,27 minut je výhodné využít nesprávnou kolej již ze stanice Svitavy (s případným návratem na správnou kolej na odbočce Banín), při mezidobí delším než 8,49 minut se již nevyplatí 1. vlak předjíždět. Výsledná délka efektivního pásma vstupu 2. vlaku činí 2,22 minut. V porovnání s totožnou situací v opačném směru (viz tabulka 10 v kapitole 3.1.1), kdy délka intervalu činila 5,37 minut, došlo ke zkrácení intervalu o 3,15 minut, čímž se potvrdil předpoklad nižší využitelnosti odbočky v tomto směru.

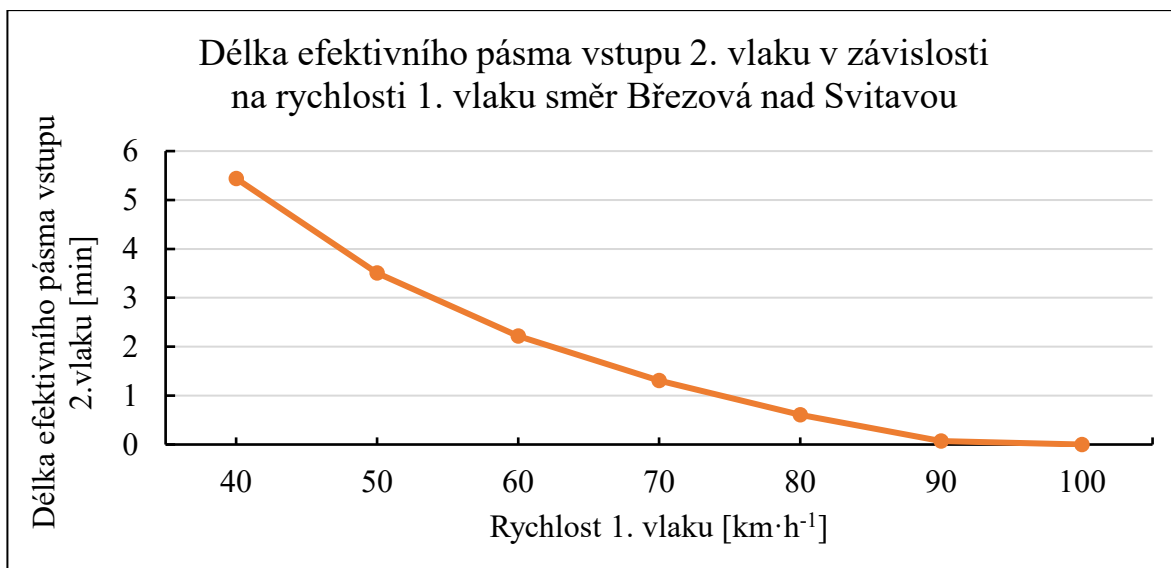
Druhá varianta výpočtu opět porovnává dvojici pomalý a rychlý vlak ve sledu, přičemž u pomalého 1. vlaku je uvažována rychlost od $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, druhý vlak je opět Ex využívající maximální povolenou, tedy traťovou rychlost. Výsledkem jsou opět intervaly mezidobí, resp. efektivní pásmo vstupu 2. vlaku do mezistaničního úseku, viz tabulka 19.

Tabulka 19: Závislost délky mezidobí na rychlosti 1. vlaku směr Březová n. S.

Rychlost 1. vlaku [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]	Mezidobí [min]		Délka intervalu mezidobí [min]
	od	do	
40	10,68	16,12	5,44
50	7,77	11,28	3,51
60	5,84	8,06	2,22
70	4,45	5,76	1,31
80	3,42	4,03	0,61
90	2,61	2,68	0,07
100	0	0	0

Zdroj: Autor

V tabulce 19 jsou shrnuty výsledky výpočtů mezidobí pro dvojice pomalého a rychlého vlaku ve směru Březová nad Svitavou. Kladné výsledky byly dosaženy pouze pro rychlost od 40 do $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ u prvního vlaku, při které lze využitím odbočky Banín tento vlak předjet expresním vlakem v úseku mezi odbočkou a žst. Březová n. S. Při rychlosti $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ není výhodné odbočku pro předjíždění v tomto úseku využít. Vzhledem k délce intervalu u rychlosti $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, která nedosahuje ani desetininy minuty (v přepočtu se jedná o 4,2 sekundy), lze i pro tuto rychlost předpokládat nulové nebo zcela minimální využití odbočky pro předjíždění. Délku intervalu mezidobí (efektivního pásma vstupu 2. vlaku) v závislosti na rychlosti 1. vlaku graficky znázorňuje obrázek 24.



Obrázek 24: Délka efektivního pásma vstupu 2. vlaku dle rychlosti 1. vlaku směr Březová

Zdroj: Autor

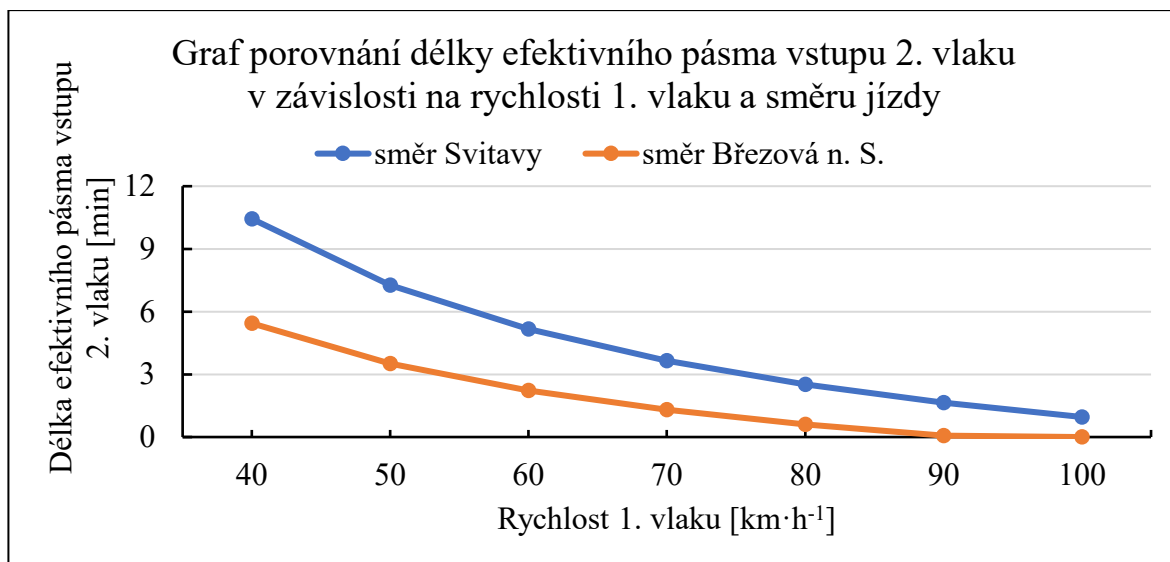
Z dosažených výsledků je zřejmé, že při tvorbě simulačních scénářů je třeba věnovat pozornost zejména provozním situacím, kde 1. vlak dosahuje rychlosti od 40 do 80 km·h⁻¹. Vyšší rychlosti je vhodné patřičně ověřit, nicméně nelze očekávat překvapivé výsledky. Obecně je z výsledků výpočtů pro tento směr jízdy patrné, že odbočka má význam zejména pro velmi pomalé vlaky s rychlostí do 70 km·h⁻¹, což v pravidelném provozu na koridorové trati není příliš časté. Pro názornost lze v tabulce 20 porovnat vypočtené délky intervalů mezidobí pro oba směry mezi sebou.

Tabulka 20: Porovnání délky efektivního pásma vstupu 2. vlaku pro oba směry

1. vlak – 2. vlak	Délka intervalu mezidobí [min]		Rozdíl [min]
	směr Svitavy	směr Březová n. S.	
Os – Ex	5,37	2,22	3,15
40 km·h⁻¹ – Ex	10,44	5,44	5
50 km·h⁻¹ – Ex	7,27	3,51	3,76
60 km·h⁻¹ – Ex	5,16	2,22	2,94
70 km·h⁻¹ – Ex	3,65	1,31	2,34
80 km·h⁻¹ – Ex	2,52	0,61	1,91
90 km·h⁻¹ – Ex	1,64	0,07	1,57
100 km·h⁻¹ – Ex	0,96	0	0,96

Zdroj: Autor

Z tabulky 20 je zřejmé, že poloha odbočky ovlivňuje její využitelnost, což dokazují rozdíly v délkách intervalů mezidobí. S rostoucí rychlostí u obou směrů klesá délka intervalu i jejich rozdíl. Pro lepší přehlednost lze vzájemné porovnání demonstrovat pomocí grafu na obrázku 25.



Obrázek 25: Graf porovnání délky efektivního pásma vstupu 2. vlaku pro jednotlivé směry

Zdroj: Autor

3.1.4 Ověření výpočtu simulací dvojic vlaků směr Březová nad Svitavou

Obdobně jako v kapitole 3.1.2 je analytický výpočet ověřen pomocí extenzivní simulace v úseku Svitavy – Březová nad Svitavou. V rámci prvního scénáře je posuzována dvojice Os s motorovou jednotkou řady 814 a Ex s lokomotivou řady 362 a 5 vozy. Osobní vlak je z žst. Svitavy vypravován každých 20 minut a po trase obsluhuje všechny zastávky. Je mu přiřazen jediný itinerář, který je definován z 1. SK žst. Svitavy po 1. TK do žst. Březová nad Svitavou na 4. SK. Vzhledem k tomu, že v Březové nad Svitavou se nachází úroňová nástupiště a staniční budova je situována vlevo ve směru jízdy (tzn. u sudé skupiny kolejí), je zvolena 4. kolej z bezpečnostního hlediska. Pokud by došlo k dojetí Os a Ex v žst. Březová n. S., přičemž by Os byl veden po 1. koleji a Ex byl veden po 2. koleji, došlo by k ohrožení bezpečnosti cestujících, proto je situace takto v simulaci ošetřena. Ex je v 1. kroku veden za osobním vlakem s mezidobím 30 sekund, přičemž v každém dalším kroku se mezidobí zvyšuje o 15 sekund. Expres do simulované oblasti vstupuje s počáteční rychlostí 140 km·h⁻¹ a je v celém úseku projíždějí. Celkem bylo simulací prověřeno 50 dvojic Os a Ex, s variantami vzájemného mezidobí od 30 sekund do 780 sekund (tj. 13 min).

Pro vlak Ex byly přiřazeny tyto itineráře:

- z 1. SK žst. Svitavy po 1. TK do žst. Březová n. S. na 1. SK (priorita č. 1),
- z 1. SK žst. Svitavy po 1. TK na odb. Banín, z odb. Banín po 2. TK do žst. Březová n. S. na 2. SK (priorita č. 2),
- z 1. SK žst. Svitavy po 2. TK do žst. Březová n. S. na 2. SK (priorita č. 3).

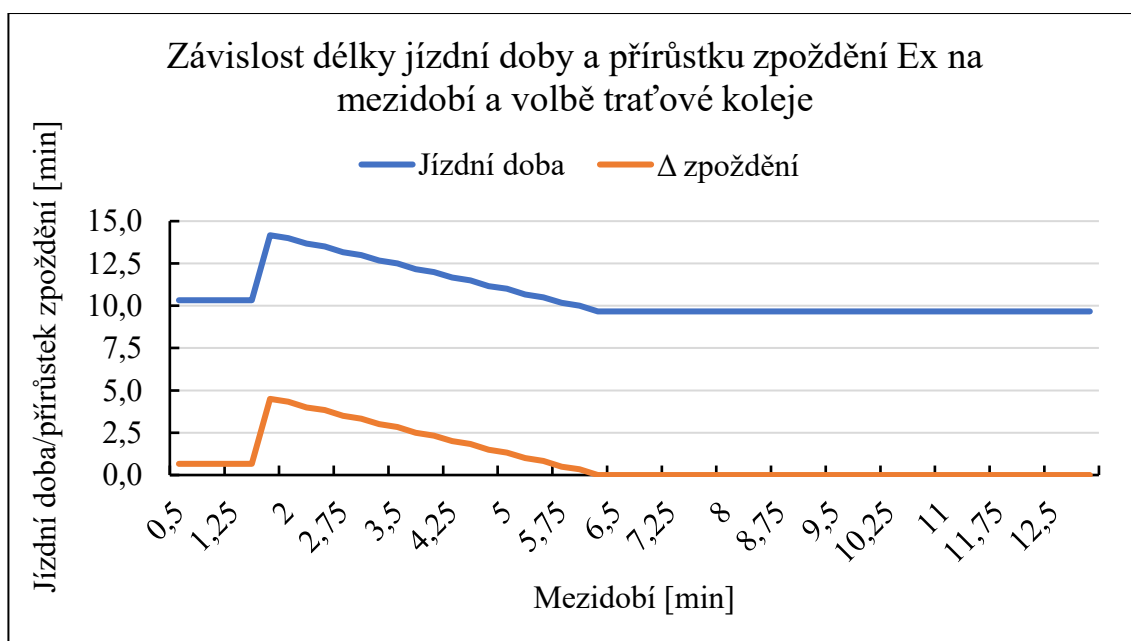
I v tomto případě nebyl z důvodu složitosti a rozsahu simulace u itineráře s prioritou č. 3 uvažován možný návrat vlaku z nesprávné koleje na odbočce Banín zpět na správnou kolej, ale byla nastavena jízda po nesprávné koleji v celém mezistaničním úseku. Výsledky tohoto scénáře z hlediska využití odbočky Banín pro předjíždění v závislosti na vzájemném mezidobí Os a Ex zobrazuje tabulka 21.

Tabulka 21: Výsledky simulace sledu Os a Ex směr Březová n. S.

Mezidobí [min]		Délka intervalu mezidobí [min]	Způsob jízdy 2. vlaku
od	do		
0,5	1,5	1	po nesprávné koleji již z žst. Svitavy
1,75	8	6,25	po nesprávné koleji z odbočky Banín
8,25	13	4,75	po správné koleji v celém mezistaničním úseku

Zdroj: Autor

Výsledky simulace v porovnání s výsledky analytického výpočtu v tabulce 18 vykazují poměrně velké odchylky. Ty jsou opět způsobeny rozhodováním softwaru OpenTrack o volbě traťové koleje pro Ex. Proto je třeba výsledky opět prezentovat v širším kontextu s ohledem na délku jízdní doby a přírůstek zpoždění tohoto vlaku v závislosti na vzájemném mezidobí a s tím spojené volbě traťové koleje. Pro názornost této závislosti slouží obrázek 26.



Obrázek 26: Závislost jízdní doby a Δ zpoždění Ex na mezidobí a volbě traťové koleje

Zdroj: Autor

Z grafu na obrázku 26 lze určit, že minimální doba jízdy je rovna 9,67 minut, což představuje jízdu Ex bez vzájemného konfliktu s Os a také bez snížení rychlosti jízdy přes výhybky. V první

částí grafu vlevo v rozmezí mezidobí od 0,5 do 1,5 minuty je zřejmý přírůstek zpoždění ve výši 0,67 min. V tomto rozmezí je vlak Ex veden z žst. Svitavy po nesprávné koleji až do žst. Březová nad Svitavou, kvůli čemuž je nutná jízda sníženou rychlostí 60 km·h⁻¹ přes výhybky na odjezdovém zhlaví žst. Svitavy, z čehož vyplývá ono vzniklé zpoždění. V následující části, při mezidobí od 1,75 do 6 minut, lze zaznamenat prodloužení jízdní doby až o 4,5 minuty. Při tomto časovém rozmezí je již Ex simulací veden ve sledu za Os po 1. TK na odbočku Banín, odkud je teprve veden na nesprávnou kolej za účelem předjíždění. Z výsledků délky jízdní doby, resp. přírůstku zpoždění lze však usuzovat, že v tomto rozmezí by naopak stále bylo výhodné využívat nesprávnou kolej v celém mezistaničním úseku (s případným návratem na správnou kolej na odbočce Banín). Při rozmezí 6,25 až 8 minut je Ex stále veden na odbočku Banín ve sledu za Os, z odbočky je pak veden po nesprávné koleji. Zde však již nedochází ke vzniku zpoždění, z čehož vyplývá, že je takto odbočka Banín efektivně využita bez negativního vlivu na 2. vlak. Lze proto hovořit o dříve zmíněném efektivním pásmu vstupu 2. vlaku do mezistaničního úseku. Od mezidobí větším než 8 minut je již Ex veden ve sledu za Os v celé trase po správné koleji bez prodloužení jízdní doby, tzn., že zde již nedochází k dojetí pomalejšího Os rychlejším Ex a s tím spojeným konfliktům.

Na základě těchto poznatků lze nyní výsledky simulace upravit s ohledem na efektivnost využití odbočky bez negativního vlivu na délku jízdní doby Ex. Takto upravené výsledky znázorňuje tabulka 22.

Tabulka 22: Korekce výsledků simulace sledu Os a Ex směr Březová n. S.

Mezidobí [min]		Délka intervalu mezidobí [min]	Způsob jízdy 2. vlaku
od	do		
0,5	6	5,5	po nesprávné koleji již z žst. Svitavy
6,25	8	1,75	po nesprávné koleji z odbočky Banín
8,25	13	4,75	po správné koleji v celém mezistaničním úseku

Zdroj: Autor

Po této korekci je patrné výrazné zkrácení intervalu, kdy může být odbočka efektivně využita pro předjíždění dvojice Os a Ex po nesprávné koleji. Tyto upravené hodnoty lze nyní porovnat s výsledky analytického výpočtu a s původními výsledky simulace. Vzájemné porovnání je k dispozici v tabulce 23.

Z výsledků lze usuzovat, že hodnoty simulace po korekci jsou velmi blízké těm z analytického výpočtu a mnohdy se liší jen v řádu 0,25 až 0,5 min, což lze vysvětlit zejména určitým zjednodušujícím opatřením, která byla ve výpočtu využita.

Tabulka 23: Porovnání výsledků mezdobí v jednotlivých metodách

Analytický výpočet		Extenzivní simulace		Korekce hodnot simulace	
Mezidobí [min]		Mezidobí [min]		Mezidobí [min]	
od	do	od	do	od	do
0	6,26	0,5	1,5	0,5	6
6,27	8,49	1,75	8	6,25	8
8,50	16,55	8,25	13	8,25	13

Zdroj: Autor

V další fázi přichází na řadu simulační ověření výpočtu mezdobí pro varianty rychlostí od 40 do 100 km·h⁻¹ u 1. vlaku a za ním jedoucího vlaku Ex. Pro varianty rychlostí 40, 50 a 60 km·h⁻¹ je definován itinerář z 1. SK žst. Svitavy po 1. TK do žst. Březová nad Svitavou na 3. SK. Volba 3. SK je zde uvážena s ohledem na maximální dovolenou rychlost přes výhybky do odbočného směru, která je v tomto případě 60 km·h⁻¹. Pro varianty 60 až 100 km·h⁻¹ je uvažován itinerář z 1. SK žst. Svitavy po 1. TK do Březové na 1. SK, tedy na kolej hlavní s traťovou rychlostí. Vlak Ex má definovány totožné itineráře, jako v předchozí simulaci (varianta Os a Ex), tzn. buď v celé trase po správné koleji, nebo s jízdou na nesprávnou kolej z odbočky Banín, anebo celou trasu po nesprávné koleji.

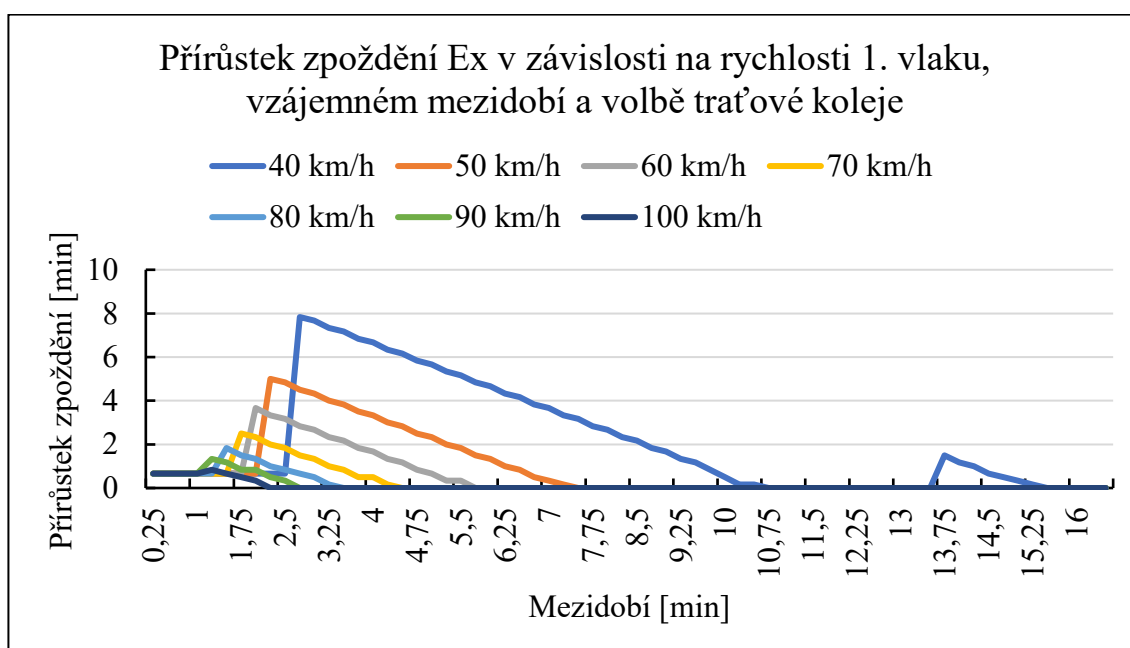
První vlak je ze zadní stanice vypravován každých 30 minut, za ním jedoucí Ex je v prvním kroku vypraven s odstupem 15 sekund a v každém dalším kroku se mezdobí o 15 sekund zvyšuje. Oba vlaky vstupují do simulované oblasti s nenulovou počáteční rychlostí, tzn. 1. vlak vstupuje vždy svou maximální rychlostí (40 až 100 km·h⁻¹ v závislosti na simulované variantě) a 2. vlak vstupuje ve všech variantách rychlostí 140 km·h⁻¹, což je v daném místě rychlost traťová. S těmito parametry bylo pro rychlost 40 až 60 km·h⁻¹ simulováno 65 dvojic vlaků, následně pro rychlost 70 km·h⁻¹ 40 dvojic, pro rychlost 80 km·h⁻¹ 25 dvojic a pro rychlost 90 a 100 km·h⁻¹ 20 dvojic. Počet simulovaných dvojic klesá s rostoucí rychlostí, protože při vyšších rychlostech využití odbočky klesá a efektivní pásmo vstupu 2. vlaku se pohybuje v nižších hodnotách mezdobí. Výsledné hodnoty intervalu mezdobí, při kterém je odbočka v simulaci využita pro jízdu 2. vlaku na nesprávnou kolej za účelem předjíždění, jsou znázorněny v tabulce 24.

Tabulka 24: Výsledky simulace sledu pomalého 1. vlaku a Ex směr Březová n. S.

Rychlost 1. vlaku [km·h ⁻¹]	Mezidobí [min]		Délka intervalu mezidobí [min]
	od	do	
40	2,75	13,5	10,75
50	2,25	10	7,75
60	2	8	6
70	1,75	6,25	4,5
80	1,5	5	3,5
90	1,25	4	2,75
100	1,25	3,5	2,25

Zdroj: Autor

Takto zobrazené výsledky simulace při porovnání s výsledky analytického výpočtu v tabulce 19 vykazují značné odchylky, které nelze v této rovině připustit. Je třeba se proto na výsledky podívat detailněji opět ve vazbě na přírůstek zpoždění 2. vlaku. Graf závislosti přírůstku zpoždění 2. vlaku na rychlosti 1. vlaku a vzájemném mezidobí při dané volbě traťové koleje je znázorněn na obrázku 27.



Obrázek 27: Přírůstek zpoždění v závislosti na rychlosti, mezidobí a volbě traťové koleje

Zdroj: Autor

Obrázek 27 názorně dokazuje, že při simulaci vlivem špatného rozhodnutí o volbě traťové koleje pro 2. vlak došlo ke vzniku zpoždění tohoto vlaku. Největší zpoždění bylo dosaženo u varianty rychlosti 40 km·h⁻¹, kde přírůstek zpoždění činí téměř 8 minut. U všech variant

rychlostí 1. vlaku lze v levé části pozorovat jeden vrchol, který vzniká v okamžiku zamítnutí jízdy 2. vlaku po nesprávné koleji již z žst. Svitavy a namísto toho je vlak veden ve sledu za 1. vlakem na odbočku Banín, odkud je teprve veden na nesprávnou kolej. Je tedy zřejmé, že v těchto případech by bylo výhodnější využívat nesprávnou kolej již ze zadní stanice. Druhý vrchol lze pozorovat pouze u varianty rychlosti $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, kdy naopak došlo k předčasnému rozhodnutí o vedení 2. vlaku ve sledu za 1. vlakem i z odbočky Banín, čímž došlo k dojetí pomalého vlaku rychlým a vznikl konflikt. V tomto případě by naopak bylo vhodné využít odbočku pro jízdu na nesprávnou kolej až do mezidobí cca 15,25 minut.

Nyní je třeba tyto nežádoucí výsledky na základě přírůstků zpoždění podrobit korekci, čímž budou dosaženy přijatelné výsledky intervalů mezidobí, při kterých může být odbočka Banín efektivně využívána pro tyto provozní situace. Korekci výsledků simulace znázorňuje tabulka 25.

Tabulka 25: Korekce výsledků simulace sledu pomalého 1. vlaku a Ex směr Březová n. S.

Rychlost 1. vlaku [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]	Mezidobí [min]		Délka intervalu [min]
	od	do	
40	10,75	15,25	4,5
50	7,5	10	2,5
60	5,75	8	2,25
70	4,5	6,25	1,75
80	3,5	5	1,5
90	2,75	4	1,25
100	2,25	3,5	1,25

Zdroj: Autor

Po provedení korekcí došlo k úpravě hraničních hodnot intervalů mezidobí, při kterých již nedochází k prodlužování jízdní doby 2. vlaku. Pro mezidobí, které je menší než hodnoty uvnitř výsledného intervalu, lze využít nesprávnou kolej v celém mezistaničním úseku bez vzniku zpoždění (případně po předjetí využít odbočku Banín pro návrat vlaku na správnou kolej). Pro mezidobí, které je větší než hodnoty uvnitř intervalu, je naopak výhodné vést 2. vlak ve sledu za 1. vlakem po téže (správné) koleji, opět bez rizika vzniku vzájemného konfliktu. Na závěr je třeba výsledky vzájemně porovnat s analytickým výpočtem a vyhodnotit. Srovnání všech výsledků zobrazuje tabulka 26.

Tabulka 26: Porovnání výsledků mezidobí v jednotlivých metodách

Rychlost 1. vlaku [km·h ⁻¹]	Analytický výpočet		Extenzivní simulace		Korekce simulace	
	Mezidobí [min]		Mezidobí [min]		Mezidobí [min]	
	od	do	od	do	od	do
40	10,68	16,12	2,75	13,5	10,75	15,25
50	7,77	11,28	2,25	10	7,5	10
60	5,84	8,06	2	8	5,75	8
70	4,45	5,76	1,75	6,25	4,5	6,25
80	3,42	4,03	1,5	5	3,5	5
90	2,61	2,68	1,25	4	2,75	4
100	0	0	1,25	3,5	2,25	3,5

Zdroj: Autor

Vzájemným porovnáním výsledných hodnot z jednotlivých metod je zřejmé, že hodnoty mezidobí získané korekcí dat ze simulace se pro rychlosti od 40 do 90 km·h⁻¹ přibližně shodují s výsledky analytického výpočtu. V tomto rozmezí rychlostí pak hodnoty, které ohraničují výsledný interval zleva, vykazují průměrnou odchylku ve výši 0,12 min. Pro hodnoty, ohraničující interval zprava, činí průměrná odchylka 0,83 min, tedy o 0,71 min více. S přihlédnutím k určitým zjednodušujícím předpokladům při analytickém výpočtu lze tyto odchylky považovat za přijatelné.

Naopak výsledky, které se v rámci metod poměrně značně neshodují, jsou u rychlosti 100 km·h⁻¹. Dle analytického výpočtu by interval mezidobí, při kterém může být odbočka pro předjíždění efektivně využita, neexistuje, tzn., že buď je Ex veden po nesprávné koleji v celém mezistaničním úseku, nebo je veden ve sledu za 1. vlakem po správné koleji v celém úseku. Extenzivní simulace (i po korekci výsledků) však pro tuto rychlost vykazovala potřebu jízdy na nesprávnou kolej z odbočky, avšak bez patřičného opodstatnění, neboť v žádném z případů tato volba traťové koleje nebyla nutná (ke konfliktu s 1. vlakem nemohlo dojít). Z tohoto důvodu lze konstatovat, že výsledky analytického výpočtu pro rychlost 100 km·h⁻¹ lze považovat za průkazné, tzn. pro tuto rychlost není odbočka pro danou dvojici vlaků efektivně využitelná.

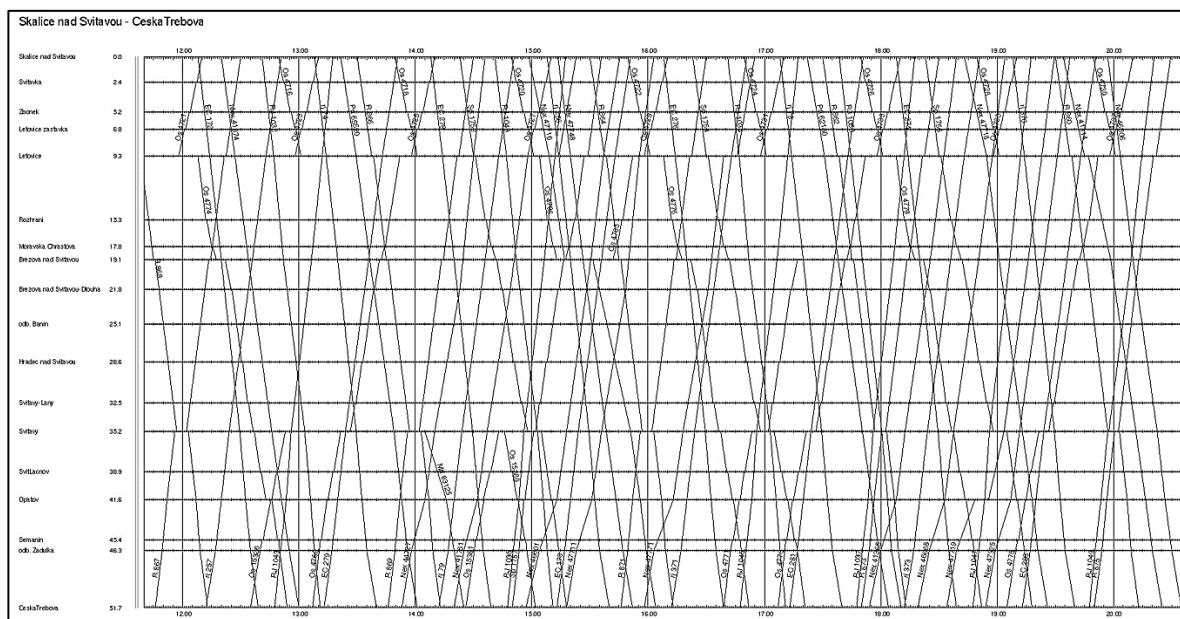
3.2 Simulace provozu z GVD 2020 v úseku Skalice n. S. – Česká Třebová

Po předchozím simulačním ověření využitelnosti odbočky Banín při jednosměrném pojíždění trati je nyní třeba posoudit její přínos při obousměrném provozu. Právě simulace obousměrného provozu vlaků ověří předpoklad P3 z kapitoly 1.2 a jeho úvahu o negativním vlivu protisměrných vlaků na využitelnost odbočky pro předjíždění po nesprávné koleji. Za tímto

účelem byl na modelované trati vytvořen jízdní řád z GVD 2019/2020 a jeho časový úsek cca od 12 do 20 hodin, tj. cca 8 hodin provozu. Tento grafikon byl zvolen z důvodu vyššího počtu vlaků než v jízdních řádech v následujících letech, které byly dotčeny výlukami na 1. koridoru a s tím spojeným úbytkem vlaků v důsledku jejich odklonů přes Havlíčkův Brod. GVD 2019/2020 zahrnuje jak veškeré vlaky dálkové a regionální dopravy, tak také četné nákladní dopravy. Pro srovnání, v roce 2020 činil průměrný denní počet vlaků v úseku Březová n. S. – Svitavy 145 vlaků, v roce 2022 jen 55 vlaků. Návrat k původním počtům lze očekávat od 2. pol. roku 2023 (9), (16). Součástí modelovaného osmihodinového provozu je celkem 87 vlaků. Počet vlaků představuje reálný provoz v pracovní den grafikonu 2019/2020. Byly zahrnuty tyto vlaky, resp. linky (34):

- 16 vlaků rj/EC linky Ex3 Praha–Brno–Graz/Budapešť,
- 10 vlaků RJ linky Praha–Brno–Bratislava/Vídeň/Budapešť,
- 10 vlaků R „Svitava“ linky R19 Praha – Česká Třebová – Brno,
- 4 vlaky Sp linky Česká Třebová – Brno,
- 17 vlaků Os linky S2 Letovice – Skalice nad Svitavou – Brno – Křenovice dol. n.,
- 9 vlaků Os linky S22 Česká Třebová – Březová nad Svitavou/Letovice,
- 3 vlaky Os linky Česká Třebová – Svitavy/Polička,
- 17 nákladních vlaků kategorie Nex nebo Pn v trase Česká Třebová – Skalice n. S.,
- 1 manipulační vlak v trase Svitavy – Česká Třebová.

Výslednou podobu NJŘ osmihodinového provozu v daném úseku znázorňuje obrázek 28, pro lepší čitelnost je také uveden v příloze B.



Obrázek 28: Nákrešný jízdní řád modelovaného osmihodinového úseku GVD 2020

Zdroj: Autor na podkladě (34)

Takto sestavený reálný jízdní řád, který je v základním stavu (bez zpoždění) bezkolizní a s odbočkou neuvažuje, byl v prvním kroku simulací ověřen s výsledkem, že odbočka využita nebyla a veškeré předjíždění proběhlo ve stanicích dle jízdního řádu. Průměrný přírůstek všech simulovaných vlaků činil 0,93 s. Tím byla provedena validace modelu. Lze však očekávat, že při vzniku zpoždění může docházet ke vzniku nových konfliktů na jiných místech, tzn. může vzniknout potřeba předjíždění uvnitř mezistaničního úseku, což je proveditelné právě využitím odbočky. Proto byl v následující fázi provoz ověřen při působení náhodných vlivů se zpožděním.

Simulace byla provedena s využitím náhodně generovaného vstupního zpoždění na základě exponenciálního rozdělení pravděpodobnosti se střední hodnotou 250 sekund. Hodnota 250 s byla v rámci zjednodušení autorem zvolena souhrnně pro všechny vlaky, což není v souladu se směrnicí SM 124, která rozlišuje jednotlivé kategorie vlaků. Výše střední hodnoty se však zejména pro vlaky osobní dopravy zásadně neliší od hodnot ve směrnici (tj. např. 240 s pro Os výchozí v simulované oblasti, 420 s pro vlaky dálkové dopravy), proto autor přistoupil k tomuto zjednodušení. Železniční provoz byl simulačním modelem posouzen ve dvou simulačních scénářích, a to nejprve ve scénáři s možností jízdy z odbočky Banín na nesprávnou kolej, a následně se zákazem využití odbočky pro jízdu na nesprávnou kolej. Takto bylo simulováno celkem 100 replikací v každém scénáři, tedy celkem 200 replikací. Vstupní zpoždění je v OpenTracku na základě zadaného rozdělení pravděpodobnosti a střední hodnoty softwarem generováno s využitím generátoru pseudonáhodných čísel a všem vlakům přiřazováno v jejich výchozí stanici. Vstupní zpoždění bylo nastaveno pomocí funkce „Delay Scenario“, která umožňuje pro zadanou střední hodnotu simulovat až 200 replikací. Výhodou je, že pro neměnné vstupní parametry (jízdní řády, infrastrukturu, vlaky) jsou dané scénáře opakovatelné se stejnými hodnotami vstupních zpoždění, tzn. lze takto porovnat obě varianty (s možností využití odbočky i bez) se stejným vstupním zpožděním.

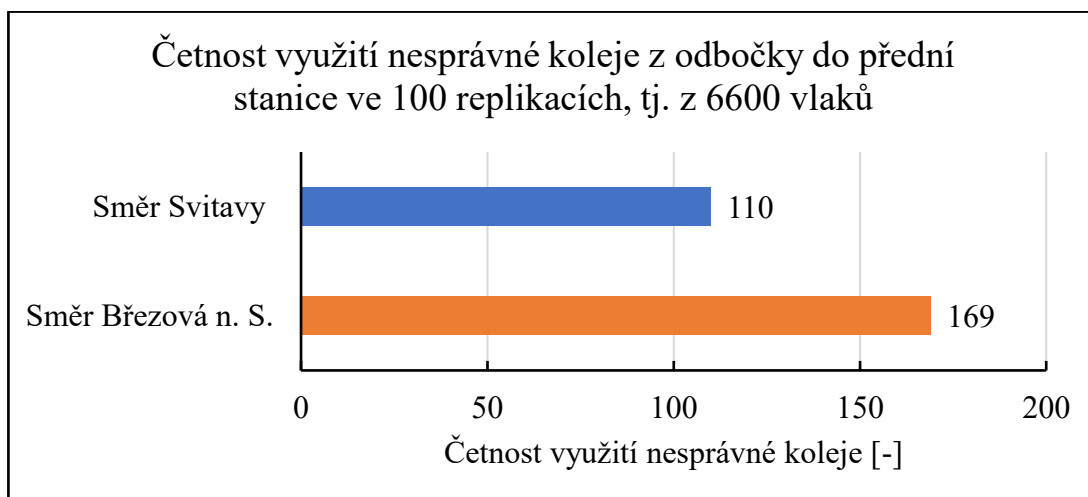
3.2.1 Simulační scénář s využíváním odbočky Banín

Při replikacích v rámci prvního scénáře s povolením využití odbočky Banín pro jízdu na nesprávnou kolej bylo toto umožněno všem vlakům, které jedou v úseku Březová nad Svitavou – Svitavy a opačně, vyjma osobních a spěšných vlaků, které v tomto úseku obsluhují mezilehlé zastávky. Jízda na nesprávnou kolej byla vlakům definována pomocí alternativního itineráře, tzn. vždy prioritní variantou je jízda po správné koleji a až jako alternativa s nižší prioritou je nesprávná kolej z odbočky do přední stanice. V průběhu všech 100 replikací bylo sledováno, ve které dvojici vlaků ve sledu vznikla potřeba jízdy 2. vlaku na nesprávnou kolej za účelem

předjíždění nebo alespoň umožnění hladšího průjezdu úsekem bez nutnosti snížení rychlosti za 1. vlakem. V těchto situacích docházelo k 3 variantám výsledků:

- a) k předjetí došlo již v úseku mezi odb. Banín a přední stanicí,
- b) k předjetí došlo až v přední stanicí,
- c) k předjetí nedošlo a vlaky pokračovaly ve sledu.

Z celkového počtu 87 vlaků v celém modelovaném úseku Skalice nad Svitavou – Česká Třebová je přes posuzovaný úsek Březová n. S. – Svitavy vedeno 66 vlaků v průběhu časového období cca 8 hodin v obou směrech. Při provedení 100 replikací se tedy jedná o celkem 8700 vlaků v celé modelované trati, z toho 6600 vlaků v zmíněném úseku s odbočkou Banín. Výsledky simulací z pohledu četnosti využití odbočky Banín pro jízdu na nesprávnou kolej včetně rozdělení dle směru jízdy znázorňuje graf na obrázku 29.

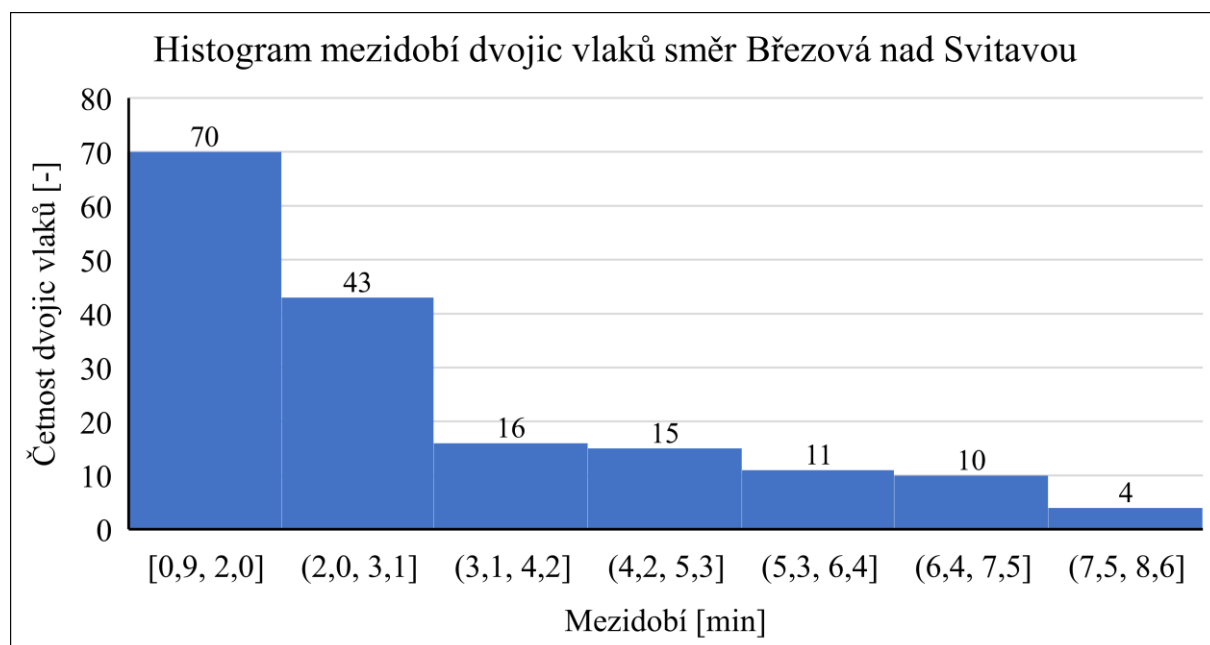


Obrázek 29: Četnost využití nesprávné koleje z odbočky do přední stanice

Zdroj: Autor

Z grafu na obrázku 29 je patrné, že v průběhu 100 replikací při simulaci provozu s náhodným vstupním zpožděním došlo celkem u 279 vlaků (z 6600 vlaků provezených daným úsekem) k využití odbočky Banín pro jízdu na nesprávnou kolej. Odbočka byla více využívána pro vlaky ve směru do žst. Březová n. S. a dále směr Brno, celkem o 59 případů více než ve směru do žst. Svitavy a dále směr Česká Třebová. Průměrný počet využití odbočky v rámci jedné replikace činí 2,79, tzn. cca 3 vlaky během 8 hodin simulovaného provozu. Je však třeba podotknout, že k využití odbočky nedošlo ve všech 100 replikacích, ale 4 proběhly bez její potřeby. Průměrná hodnota je vztažena ke 100 replikacím, ale jestliže by bylo uvažováno 96 replikací, při kterých k využití odbočky došlo, pak by průměrná hodnota činila 2,91 vlaku za jednu replikaci.

Pro každý případ využití odbočky lze vyhodnotit, při jakém vzájemném mezdobí mezi 1. a 2. vlakem k této situaci docházelo. Situaci je vhodné opět rozdělit podle směrů jízdy, neboť na základě předpokladů ze simulací a výpočtů v kapitole 3.1 lze předpokládat rozdílnost výsledků. Pro směr do žst. Březová nad Svitavou jsou výsledky znázorněny v grafu na obrázku 30. Hodnoty mezdobí jsou vždy vztaženy k rozdílům v čase odjezdů/průjezdů ze zadní stanice.



Obrázek 30: Histogram mezdobí dvojic vlaků směr Březová nad Svitavou

Zdroj: Autor

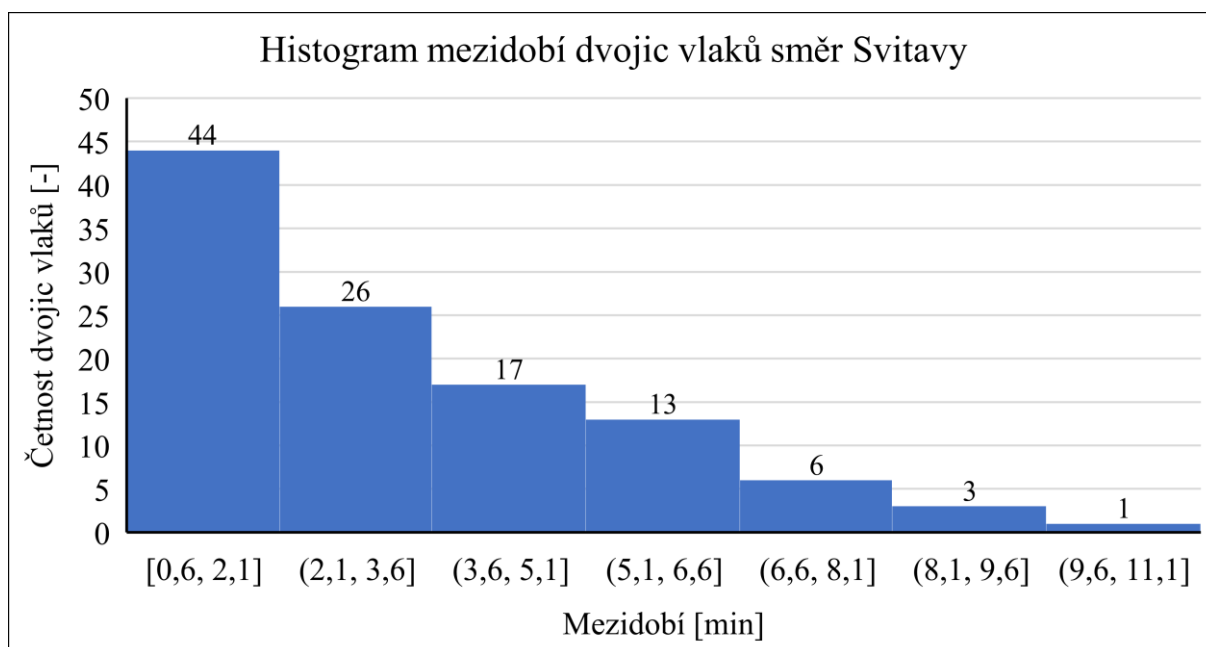
Z grafu na obrázku 30 lze vyvodit závěr, že u vlaků směr Březová n. S. docházelo k jízdě 2. vlaku z odbočky Banín na nesprávnou kolej nejčastěji při mezdobí do 2 minut. Více než 75 % všech případů bylo zaznamenáno při mezdobí od 0,9 do 4,2 min. Průměrná hodnota mezdobí pro všechny případy činí 3,07 min. Pomocí průměrných hodnot lze mezdobí rozdělit v závislosti na kategorii 1. vlaku, což je znázorněno v tabulce 27. Z výsledků je patrné, že zejména v situaci, kdy 1. vlak je osobní nebo spěšný, je průměrná hodnota mezdobí větší o více než 1 minutu v porovnání s ostatními kategoriemi vlaků. Naopak u kategorie R a Ex je hodnota větší než pro nákladní vlaky, což je dáno zejména skutečností, že ve většině případů se v této kategorii 1. vlaku jednalo o rychlík, který v zadní stanici zastavuje a následně se rozjíždí, tudíž je třeba většího časového odstupu než u projíždějícího nákladního vlaku.

Tabulka 27: Průměr a medián mezidobí podle kategorie 1. vlaku směr Březová n. S.

Kategorie 1. vlaku	Průměrná hodnota mezidobí [min]	Medián mezidobí [min]
Os, Sp	3,83	3,27
R, Ex	2,64	2,63
Pn, Nex	2,39	1,81

Zdroj: Autor

V opačném směru do žst. Svitavy je situace z pohledu mezidobí u posuzovaných dvojic poměrně obdobná jako pro opačný směr, což je zřejmé z obrázku 31. Největší zastoupení bylo zaznamenáno pro mezidobí do 2,1 min, více než 75 % všech případů při mezidobí od 0,6 do 5,1 min. Průměrná hodnota mezidobí v tomto směru činí 3,38 min.



Obrázek 31: Histogram mezidobí dvojic vlaků směr Svitavy

Zdroj: Autor

Pomocí průměrných hodnot vzájemného mezidobí a mediánu lze i pro směr do žst. Svitavy znázornit hodnoty mezidobí v závislosti na kategorii 1. vlaku. K tomu slouží tabulka 28.

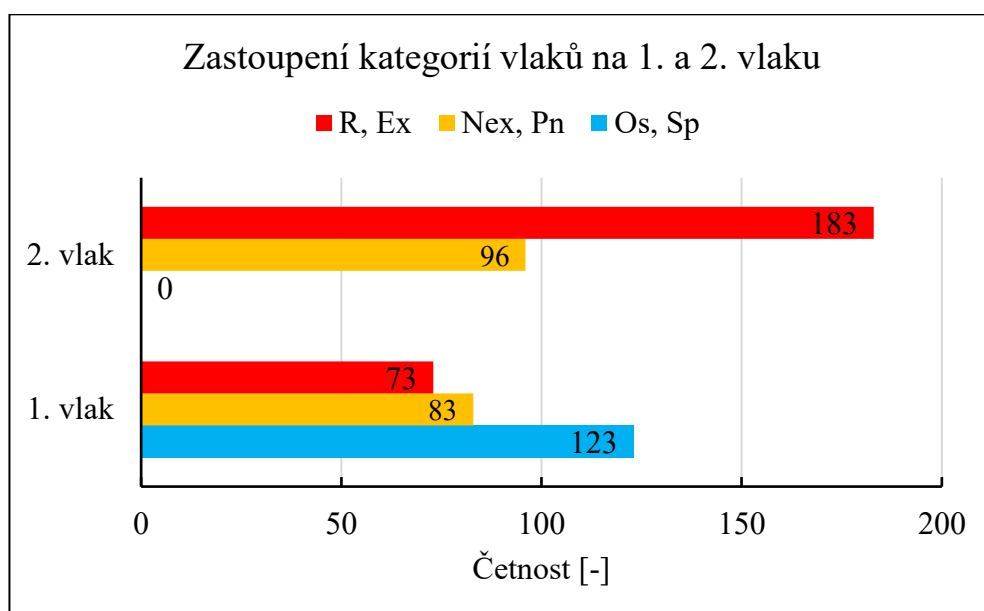
Tabulka 28: Průměr a medián mezidobí podle kategorie 1. vlaku směr Svitavy

Kategorie 1. vlaku	Průměrná hodnota mezidobí [min]	Medián mezidobí [min]
Os, Sp	3,95	3,79
R, Ex	3,05	2,01
Pn, Nex	2,67	2,04

Zdroj: Autor

I ve směru do žst. Svitavy je průměrná hodnota, resp. medián mezidobí nejvyšší u osobních a spěšných vlaků, což je dáno zejména jejich nízkou rychlostí a zastavováním v mezilehlých zastávkách. Nejnižší průměrná hodnota byla opět zaznamenána u projíždějících nákladních vlaků. U kategorie R a Ex se z převážné většiny jednalo o rychlíky, které v žst. Březová n. S. zastavují, tudíž i zde platí, že je třeba většího mezidobí mezi 1. a 2. vlakem než v porovnání s projíždějícím vlakem.

Součástí vyhodnocení využívání odbočky Banín pro řešení konfliktů mezi 1. a 2. vlakem jízdou na nesprávnou kolej je také rozbor četností zastoupení jednotlivých kategorií vlaků v posuzovaných dvojicích na pozici 1. nebo 2. vlaku. Číselně i graficky jsou výsledky rozboru pro všech 279 případů využití odbočky znázorněny na obrázku 32.



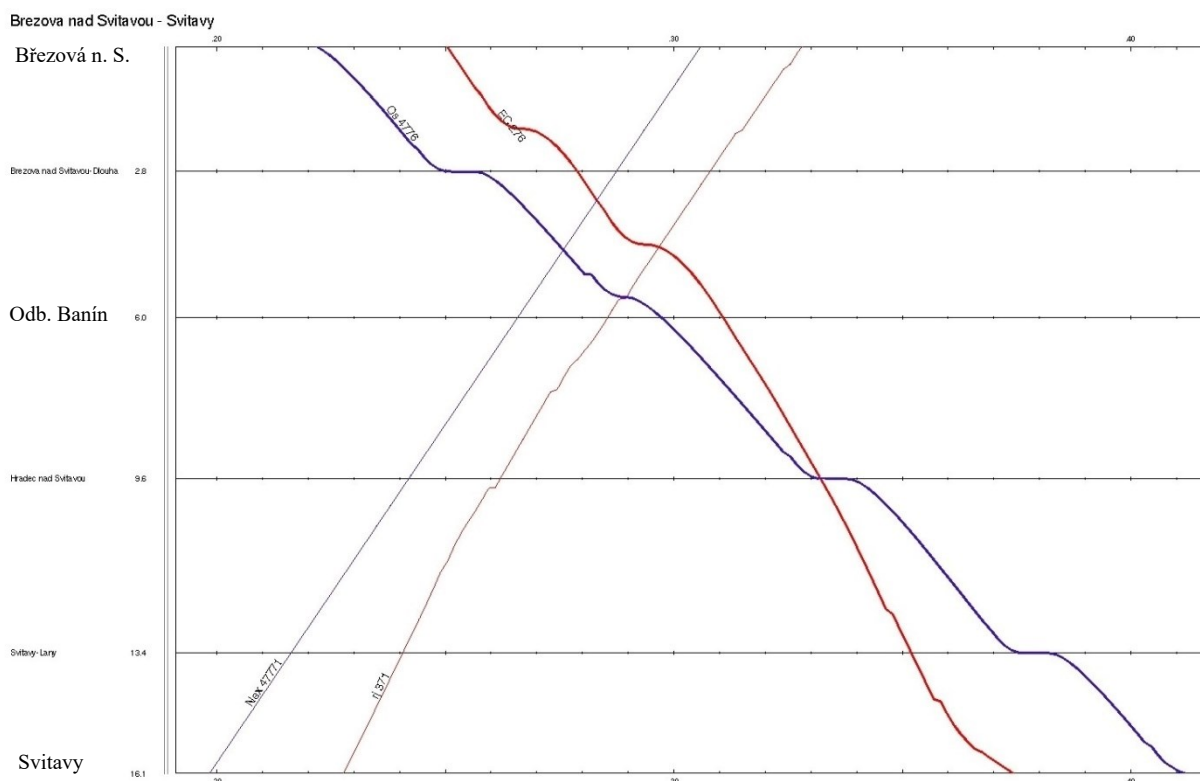
Obrázek 32: Rozbor četnosti zastoupení kategorií vlaků na 1. a 2. vlaku

Zdroj: Autor

Z výsledků lze konstatovat, že v provedených 100 replikacích, při kterých byla odbočka pro jízdu 2. vlaku na nesprávnou kolej využita celkem 279×, byl jako 1. vlak nejčastěji Os, Sp nebo nákladní vlak (celkem 206 případů), naproti tomu 2. vlak byl v 183 případech kategorie R nebo Ex. Poměrně velké zastoupení na pozici 2. vlaku má nákladní doprava, u které se ve většině případů jednalo o sled s osobním nebo spěšným vlakem, případně s jiným, zpravidla pomalejším nákladním vlakem. Na pozici 1. vlaku je také nemalé zastoupení vlaků kategorie R, příp. Ex, přičemž zde se velmi často jednalo o dvojici vlaku R linky R19 a za ním ve sledu jedoucím vlakem Ex dopravce RegioJet. Nejčastějším zástupcem takové dvojice byly vlaky R 862 a Ex 1050, ve které vlak 1050 využil nesprávnou kolej z odbočky celkem v 36 případech.

V opačném směru byla takto velmi často řešena i dvojice vlaků R 873 a Ex 1037, v celkem 19 případech.

Názorným příkladem dvojice vlaků z jedné replikace, u které odbočka Banín umožnila předjíždění pomocí nesprávné koleje, je osobní vlak 4776 a za ním jedoucí mezistátní Ex 276, které jsou znázorněny ve formátu nákrešného jízdního řádu na obrázku 33. Os 4776 je znázorněn modrou čarou, Ex 276 červenou čarou. Jedná se o grafickou podobu, která je generována pomocí softwaru OpenTrack (tzv. Train Diagram) a představuje jednu z možných forem, jak lze sledovat průběh simulace jízdy jednotlivých vlaků. Z obrázku je zřejmé, že předjetí těchto dvou vlaků proběhlo přibližně v místě zastávky Hradec nad Svitavou, kde osobní vlak (na správné koleji) tuto zastávku obsluhoval.



Obrázek 33: Grafické znázornění předjíždění vlaků Os 4776 a Ex 276 využitím odb. Banín

Zdroj: Autor

Pro zjištění, zda byla odbočka Banín ve zmíněných 279 případech využita pro předjíždění efektivně, je třeba podrobněji analyzovat, v kolika případech skutečně došlo k předjetí dvou vlaků přímo v úseku mezi odbočkou a přední stanicí. Rozhodujícím údajem pro toto vyhodnocení je rozdíl mezi příjezdem/průjezdem obou vlaků v přední stanici. Pakliže 2. vlak zaznamenal příjezd/průjezd v přední stanici dříve než 1. vlak, došlo k předjetí již v úseku mezi odbočkou a touto stanicí. Počty takto uskutečněných předjíždění znázorňuje tabulka 29.

Tabulka 29: Počty uskutečněných předjíždění mezi odbočkou a přední stanicí

Předjetí mezi odbočkou a přední stanicí?	Četnost [-]	Průměrné mezidobí [min]
ANO	140	3,90
NE	139	2,92

Zdroj: Autor

Dalším krokem vyhodnocení simulačního scénáře s využíváním odbočky Banín je jeho celková stabilita a s tím spojené plnění jízdního řádu. K tomuto účelu, stejně jako např. u metodiky extenzivní simulace ze směrnice SŽDC SM124 „Zjišťování kapacity dráhy“, slouží přírůstek zpoždění. Proto každý z 87 vlaků ve všech 100 replikacích tohoto simulačního scénáře byl posouzen z pohledu přírůstků zpoždění.

Tyto přírůstky byly vypočteny jako rozdíl mezi výstupním zpožděním v poslední stanici a vstupním zpožděním ve výchozí stanici. Vstupní zpoždění ve výchozí stanici se vždy vztahovalo k odjezdu, resp. průjezdu ve výchozí stanici. Výstupní zpoždění bylo vztaženo k příjezdu do koncové stanice (pro vlaky končící nebo zastavující) nebo k odjezdu/průjezdu (pro vlaky projíždějící). Vzhledem k velkému rozsahu dat (100 replikací, v každé replikaci 87 vlaků) nejsou výsledné hodnoty přírůstků zpoždění prezentovány v absolutních hodnotách, ale jako průměrné hodnoty ze všech provedených replikací. Nejprve je vyhodnocen celkový provoz všech vlaků, resp. kategorií, v následujícím kroku jsou z hlediska přírůstků zpoždění posouzeny jednotlivé případy předjíždění vlaků po nesprávné koleji z odbočky, které byly výše popsány (celkem 279 případů – viz obrázek 29).

Výsledné hodnoty průměrných přírůstků zpoždění ve všech 100 replikacích (nejprve pro všechny vlaky souhrnně, dále podle kategorií vlaků) znázorňuje tabulka 30.

Tabulka 30: Průměrné přírůstky zpoždění ve 100 replikacích ve scénáři s odbočkou

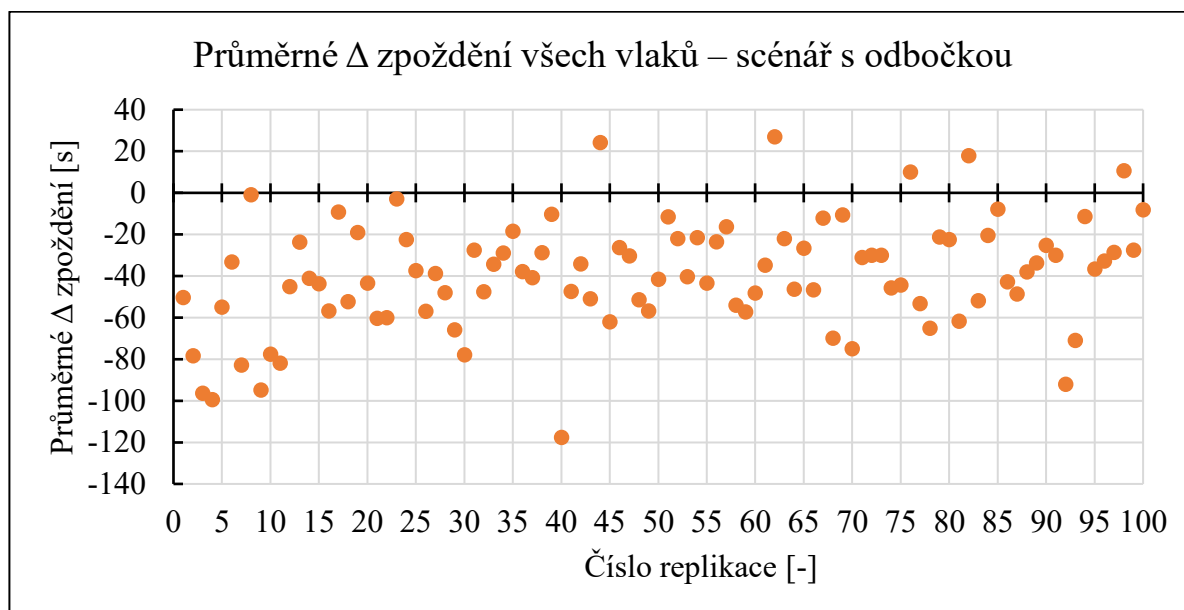
Vlaky/kategorie	Průměrný přírůstek zpoždění [s]
Všech 87 vlaků	-40
Os, Sp	+28
R	-122
Ex	-24
Pn, Nex	-140

Zdroj: Autor

Výsledky z tabulky 30 značí, že celkový průměrný přírůstek zpoždění všech 87 vlaků ve 100 replikacích činí -40 sekund, tedy záporný přírůstek, který vyjadřuje průměrné krácení

zpoždění o cca 40 sekund. Záporných hodnot bylo dále dosaženo u vlaků kategorie R, Ex a nákladních vlaků kategorie Pn a Nex. Naopak kladných hodnot přírůstků zpoždění ve výši 28 sekund bylo dosaženo u osobních a spěšných vlaků, které byly v mnoha případech předjížděny ve stanicích, resp. v úseku mezi odbočkou a přední stanicí vlaky vyšší kategorie (nebo nákladními vlaky).

Průběh průměrných přírůstků zpoždění souhrnně pro všechny vlaky v jednotlivých replikacích č. 1 až 100 je graficky znázorněn na obrázku 34.



Obrázek 34: Průměrné přírůstky zpoždění všech vlaků – scénář s odbočkou

Zdroj: Autor

Z dat na obrázku 34 je zřejmé, že většina zaznamenaných hodnot přírůstků v jednotlivých replikacích se pohybuje přibližně v rozmezí od -20 do -60 sekund. V úvodních cca 10 replikacích přírůstky zpoždění dosahovaly i hodnot blízcích se -100 sekund. Celkem v 5 případech průměrná hodnota dosáhla kladných hodnot, tedy došlo k reálnému nárůstu zpoždění (s maximem cca 27 sekund).

V následujícím kroku lze z hlediska přírůstků zpoždění posoudit konkrétní vlaky, které v průběhu 100 replikací využily odbočku Banín pro jízdu na nesprávnou kolej za účelem předjíždění nebo souběžné jízdy s 1. vlakem. Jednalo se o celkem 279 případů této jízdy, v nichž se vystřídal celkem 29 různých vlaků (některé jen jednou, jiné opakovaně). Průměrné přírůstky zpoždění těchto 29 vlaků jsou graficky znázorněny na obrázku 35.



Obrázek 35: Průměrné Δ zpoždění 29 sledovaných vlaků – scénář s odbočkou

Zdroj: Autor

Z obrázku 35 jsou patrné průměrné přírůstky zpoždění sledovaných 29 vlaků, které využily odbočku Banín. Lze pozorovat jak přírůstky kladné, které značí nárůst zpoždění, tak také přírůstky záporné, tedy v podobě krácení zpoždění. Nárůst zpoždění může vznikat jak vlivem využití nesprávné koleje např. čekáním na uvolnění zhlaví v přední stanici při řazení zpět na správnou kolej, tak také zcela mimo mezistaniční úsek s odbočkou, tzn. např. při vzájemné interakci s jiným vlakem ve vytížených úsecích trati ze Skalice nad Svitavou do České Třebové. Průměrný přírůstek zpoždění za všech 29 vlaků činí 138 sekund. Závěr, zda daný přírůstek zpoždění vznikl vlivem využití odbočky, bude možné konstatovat až porovnáním se situací bez využití odbočky. Vzájemné porovnání a zhodnocení prospěšnosti odbočky bude provedeno v kapitole 3.2.3.

V posledním kroku zbývá z hlediska přírůstků zpoždění vyhodnotit dříve zmíněných 140 případů využití odbočky a nesprávné koleje z celkem 279 (viz tabulka 29), kdy skutečně došlo k předjetí dvou vlaků v úseku mezi odbočkou a přední stanicí. Zbýlých 139 případů, kdy odbočka využita byla, ale k předjetí v daném úseku reálně nedošlo, je pro doplnění vyhodnoceno také. Výsledky znázorňuje tabulka 31.

Tabulka 31: Průměrný přírůstek zpoždění u 140 případů – scénář s odbočkou

Předjetí mezi odbočkou a přední stanicí?	Průměrný přírůstek zpoždění [s]
140 případů, kdy k předjetí v úseku došlo	91
139 případů, kdy k předjetí v úseku nedošlo	188

Zdroj: Autor

Z výsledků v tabulce 31 je patrný průměrný přírůstek zpoždění u 140 vlaků, které reálně předjely 1. vlak v úseku mezi odbočkou a přední stanicí, ve výši 91 sekund. U zbylých 139 případů, kdy k předjetí v daném úseku nedošlo, činí průměrná hodnota přírůstku zpoždění 188 sekund. Dané hodnoty bude třeba následně porovnat s hodnotami pro stejné vlaky ve druhém scénáři bez využití odbočky Banín, aby mohly být stanoveny vypovídající závěry.

3.2.2 Simulační scénář bez využívání odbočky Banín

V druhé fázi byla provedena simulace totožného provozu vlaků z GVD 2020 opět ve 100 replikacích s náhodným vstupním zpožděním dle exponenciálního rozdělení pravděpodobnosti se střední hodnotou 250 s, ale bez uvažování možnosti využití jízdy na nesprávnou kolej z odbočky Banín. Principiálně tak šlo o simulaci provozu na infrastruktuře v aktuální podobě, tedy bez zřízení odbočky Banín. Účelem simulace těchto 100 replikací bylo následné porovnání se stavem s odbočkou z předchozí kapitoly 3.2.1 a získání konkrétních dat, která budou sloužit k prokázání prospěšnosti zmíněné odbočky pro řešení konfliktů mezi ve sledu jedoucími vlaky.

V jednotlivých replikacích byla opět simulována jízda celkem 87 vlaků, z nichž celkem 66 bylo vedeno mezistaničním úsekem Březová nad Svitavou – Svitavy. Generované vstupní zpoždění je v dané replikaci totožné, jako v předchozím scénáři s odbočkou, tudíž jsou výstupy simulace vzájemně srovnatelné a lze tento postup aplikovat.

Po provedení simulací byly jednotlivé replikace vyhodnoceny z pohledu přírůstků zpoždění. Výsledné hodnoty průměrných přírůstků zpoždění ve 100 replikacích zobrazuje tabulka 32.

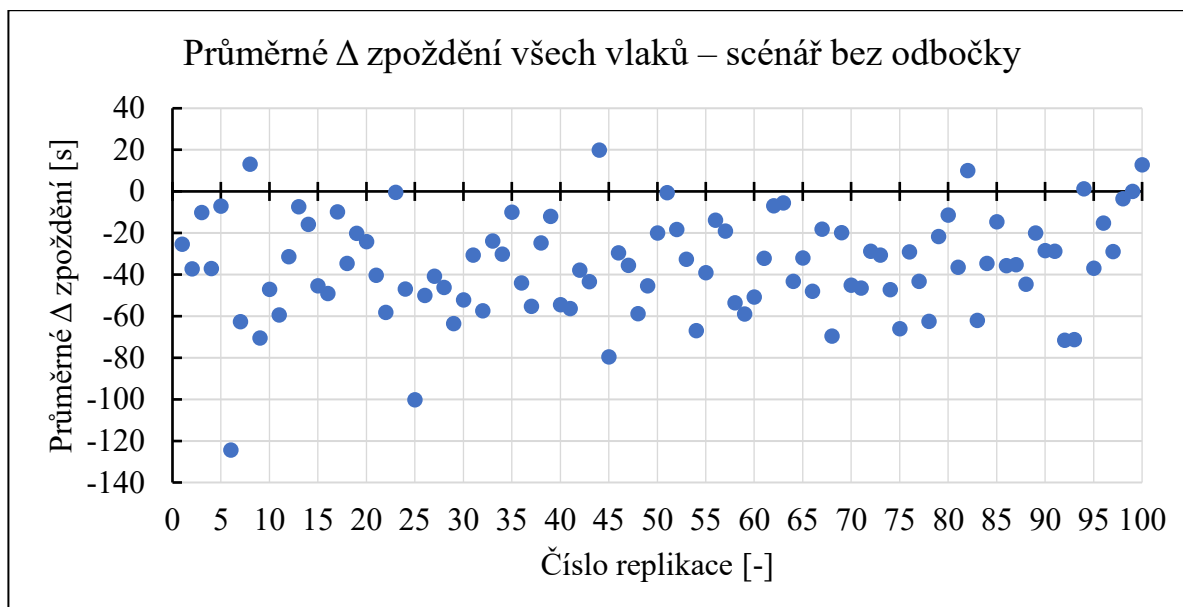
Tabulka 32: Průměrné přírůstky zpoždění ve 100 replikacích ve scénáři bez odbočky

Vlaky/kategorie	Průměrný přírůstek zpoždění [s]
Všech 87 vlaků	-35
Os, Sp	+36
R	-134
Ex	-19
Pn, Nex	-134

Zdroj: Autor

Z tabulky 32 je zřejmé, že průměrná hodnota přírůstku zpoždění pro všechny simulované vlaky během 100 replikací dosahuje -35 sekund, tzn. jde o záporný přírůstek, tedy o krácení zpoždění průměrně o 35 sekund. Záporné hodnoty byly dále zjištěny u vlaků kategorie R, Ex a nákladních vlaků Pn a Nex. Záporné hodnoty mohou souviset také s nastavením dynamických vlastností

použitých vozidel v simulaci, ale také např. s určitými rezervami v jízdním řádu. Naopak kladná hodnota přírůstku zpoždění vznikala u osobních a spěšných vlaků ve výši 36 sekund, což je dáno zejména prodloužením pobytů ve stanicích, kde probíhalo předjíždění vlakem vyšší kategorie nebo nákladním vlakem. Průběh průměrných přírůstků zpoždění všech vlaků v jednotlivých replikacích je graficky znázorněn na obrázku 36.

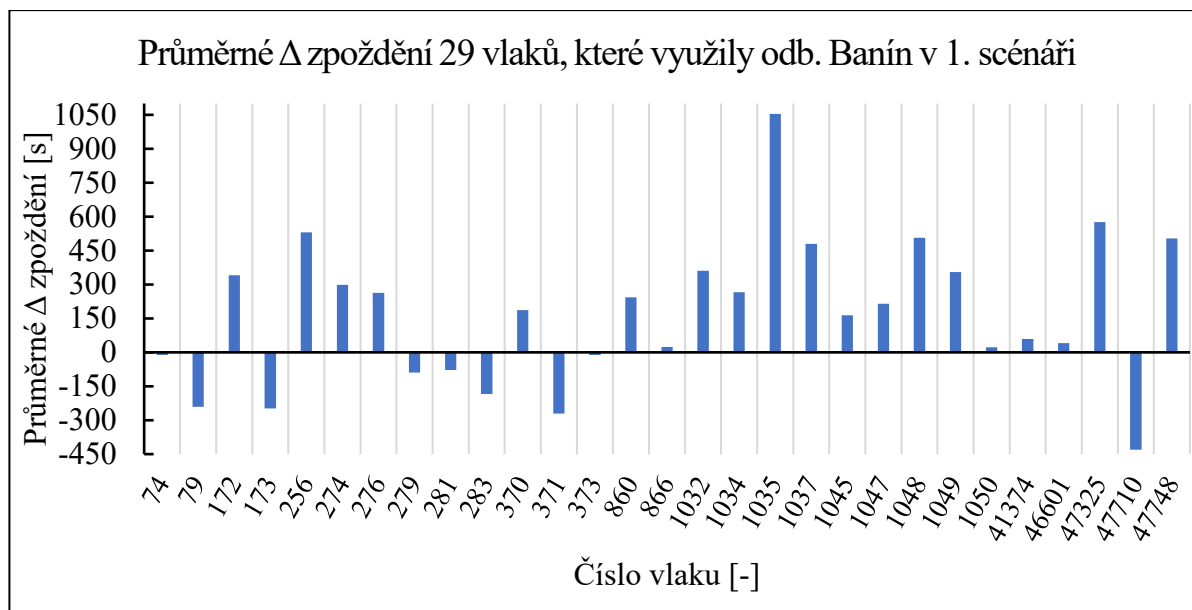


Obrázek 36: Průměrné přírůstky zpoždění všech vlaků – scénář bez odbočky

Zdroj: Autor

Z obrázku 36 je patrné rozptýlení průměrných hodnot přírůstků zpoždění všech vlaků v jednotlivých replikacích zejména mezi 0 až -60 sekundami. Ve třech replikacích dosáhl průměrný přírůstek hodnoty menší nebo rovno -80 sekund, v 6 případech došlo k nárůstu zpoždění, tj. kladné hodnoty.

Po vyhodnocení celkového provozu všech vlaků je nyní třeba vyhodnotit přírůstky zpoždění u sledovaných 29 vlaků v celkem 279 případech, u kterých v předchozím scénáři došlo k využití nesprávné koleje z odbočky Banín. Jednotlivé výsledky v podobě průměrných přírůstků zpoždění jsou znázorněny na obrázku 37. Průměrný přírůstek zpoždění za všech 29 vlaků činí 173 sekund. Na základě těchto výsledků bude následně možné v další kapitole vzájemně porovnat tyto hodnoty s výsledky ze scénáře s odbočkou, čímž bude možné posoudit prospěšnost sledované odbočky z hlediska stability jízdního řádu.



Obrázek 37: Průměrné Δ zpoždění 29 sledovaných vlaků – scénář bez odbočky

Zdroj: Autor

Posledním krokem vyhodnocení je přírůstek zpoždění u 140 případů využití odbočky a nesprávné koleje, při kterých došlo k reálnému předjetí dvou vlaků v úseku mezi odbočkou a přední stanicí. Zbylých 139 případů, kdy odbočka využita byla, ale k předjetí v daném úseku reálně nedošlo, je pro doplnění vyhodnoceno také. Výsledky znázorňuje tabulka 33.

Tabulka 33: Průměrný přírůstek zpoždění u 140 případů – scénář bez odbočky

Předjetí mezi odbočkou a přední stanicí?	Průměrný přírůstek zpoždění [s]
140 případů, kdy k předjetí v úseku došlo	206
139 případů, kdy k předjetí v úseku nedošlo	142

Zdroj: Autor

3.2.3 Vzájemné porovnání scénářů

Získané výsledky z obou simulačních scénářů budou nyní vzájemně porovnány za účelem zjištění, zda odbočka Banín je prospěšná pro řešení dopravních situací a pro celkovou stabilitu jízdního řádu. Výsledky budou porovnány nejprve souhrnně za veškerý provoz z GVD 2020 v posuzovaném osmihodinovém časovém úseku a následně pro vyjmenované vlaky, které odbočku cíleně využily pro předjíždění nebo eliminaci zpoždění.

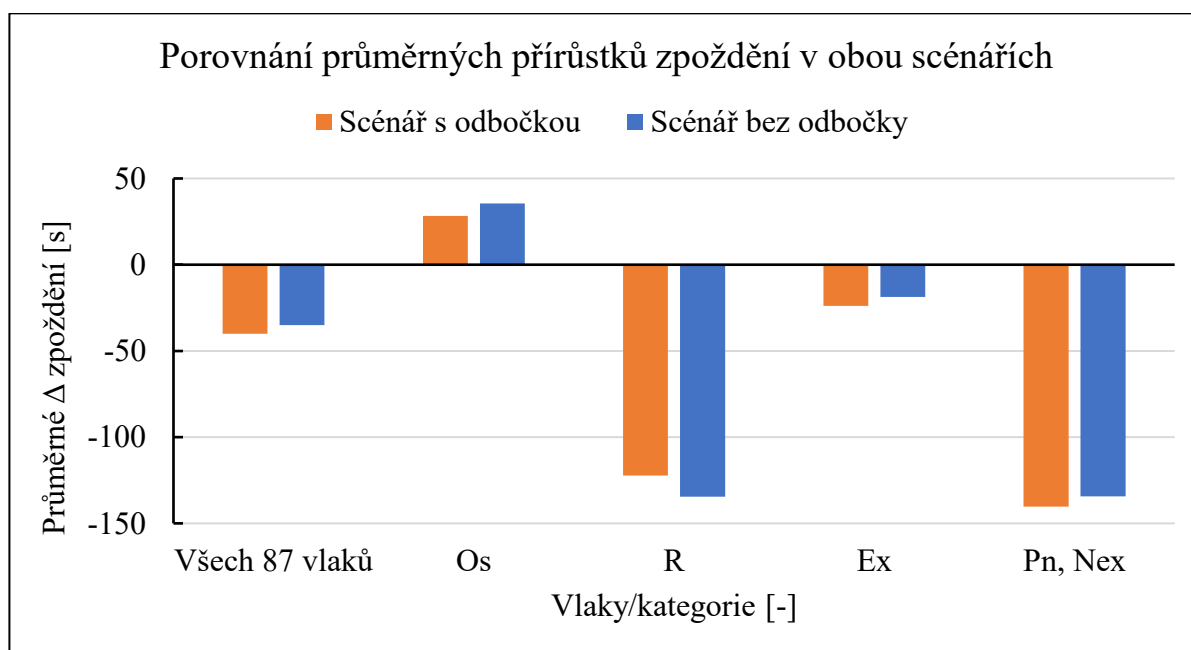
V tabulce 34 jsou zobrazeny průměrné hodnoty přírůstků zpoždění ze všech 100 replikací pro oba scénáře a jejich vzájemný rozdíl. Hodnoty jsou uvedeny nejprve pro všechny vlaky, následně rozděleny podle jejich kategorií.

Tabulka 34: Porovnání průměrných přírůstků zpoždění v obou scénářích

Vlaky/kategorie	Průměrné Δ zpoždění [s]		
	Scénář s odbočkou	Scénář bez odbočky	Rozdíl
Všech 87 vlaků	-40	-35	-5
Os, Sp	+28	+36	-8
R	-122	-134	+12
Ex	-24	-19	-5
Pn, Nex	-140	-134	-6

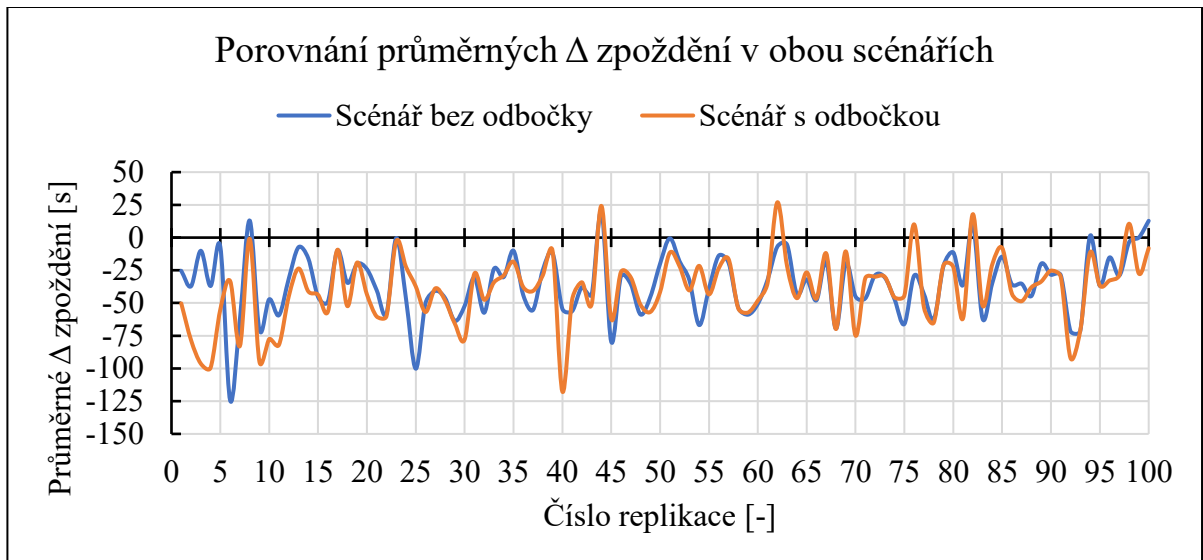
Zdroj: Autor

Data v tabulce 34 ukazují, že celkem u všech 87 vlaků došlo vlivem odbočky k rozdílu -5 sekund, tzn. jedná se o pozitivní vliv odbočky Banín na sledovaný provoz v podobě krácení zpoždění v průměru o 5 sekund. V jednotlivých kategoriích je situace podobná vyjma rychlíků, u kterých byl naopak zaznamenán kladný přírůstek 12 sekund zpoždění. Právě u vlaků kategorie R se mnohdy jednalo o jízdu ve sledu před vlaky Ex, které v mnoha případech rychlíky předjížděly po nesprávné koleji a byly v přední stanici vedeny zpět na správnou kolej již na vjezdovém zhlaví, čímž jízdou omezily rychlík na správné koleji, který tak musel vyčkávat u vjezdového návěstidla. V těchto případech mnohdy předjíždění po nesprávné koleji nebylo výhodné a pravděpodobně by v reálném provozu k této situaci ani nedocházelo. Stejná data, ale graficky, jsou znázorněna na obrázku 38.

**Obrázek 38:** Porovnání průměrných přírůstků zpoždění v obou scénářích

Zdroj: Autor

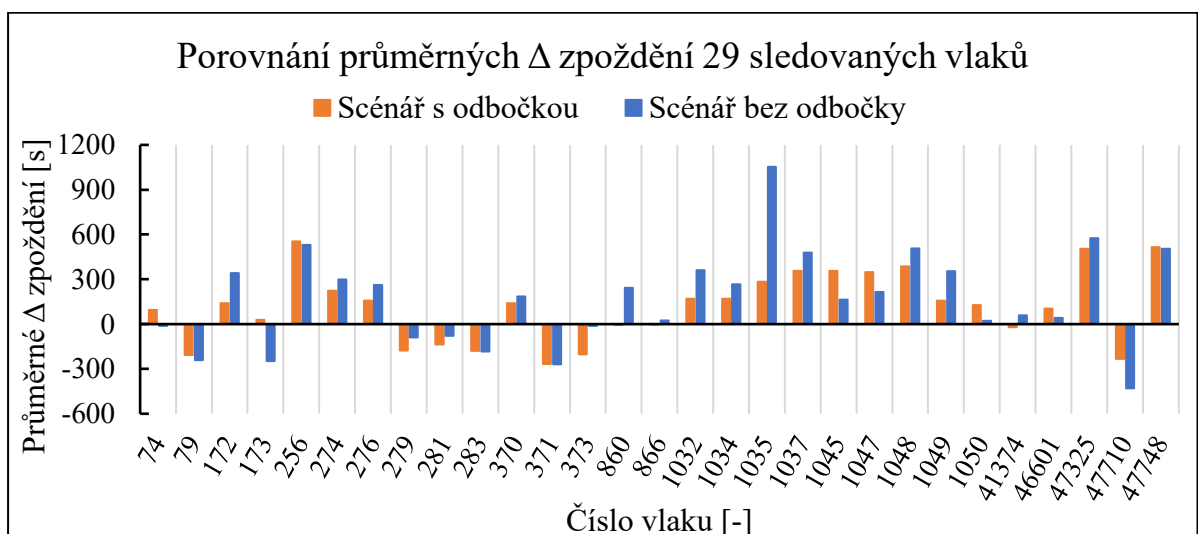
Porovnání průměrných přírůstků zpoždění v jednotlivých replikacích souhrnně pro všechny vlaky je graficky znázorněno na obrázku 39. Hodnoty scénáře s odbočkou (oranžová barva) jsou ve většině případů niž než hodnoty scénáře bez odbočky (modrá barva), což značí menší přírůstky zpoždění, resp. ve většině případů větší krácení zpoždění.



Obrázek 39: Průměrné Δ zpoždění všech vlaků obou scénářů ve 100 replikacích

Zdroj: Autor

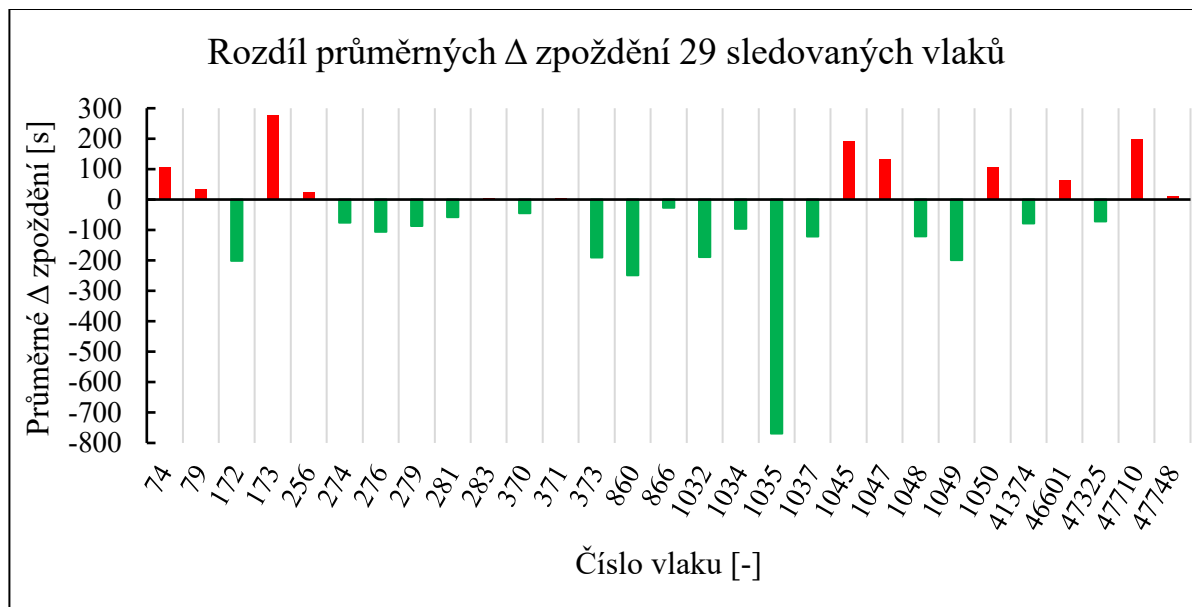
Po vyhodnocení výsledků souhrnně pro veškerý provoz v obou scénářích je nyní třeba vyhodnotit konkrétní vlaky, které odbočku pro jízdu na nesprávnou kolej využily. Pro připomenutí, jedná se o 29 různých vlaků, které v celkem 279 případech odbočku využily. U každého vlaku byl vyhodnocen průměrný přírůstek zpoždění (viz obrázky 35 a 37 v předchozích kapitolách), nyní tyto hodnoty vedle sebe zobrazuje graf na obrázku 40.



Obrázek 40: Porovnání průměrných přírůstků zpoždění 29 sledovaných vlaků

Zdroj: Autor

Data v grafu na obrázku 40 na první pohled nepřináší jasnou představu o celkové prospěšnosti odbočky u vyjmenovaných vlaků z pohledu přírůstku zpoždění. Proto je třeba data interpretovat formou jejich vzájemného rozdílu mezi scénářem s odbočkou a scénářem bez odbočky, tzn. odečíst hodnoty modrých sloupců od hodnot oranžových. K tomu slouží graf na obrázku 41.



Obrázek 41: Rozdíl průměrných přírůstků zpoždění 29 sledovaných vlaků

Zdroj: Autor

Z grafu na obrázku 41 lze konstatovat, že u celkem 17 vlaků bylo dosaženo záporného rozdílu, který značí krácení zpoždění díky využití odbočky Banín v porovnání se situací bez odbočky. U těchto 17 vlaků tak odbočka byla přínosnou součástí infrastruktury a její využití pomohlo k řešení konfliktu při sledu dvou vlaků v úseku Březová nad Svitavou – Svitavy. U 12 vlaků naopak využitím odbočky došlo k nárůstu průměrné hodnoty přírůstku zpoždění. Je však třeba brát v úvahu, že simulační program se v mnohých případech v hledisku rozhodování nemusí shodovat s uvažováním zaměstnanců řízení provozu a je pravděpodobné, že by výpravčí danou provozní situaci vyhodnotili jinak. Nicméně lze brát v úvahu i chybné rozhodnutí těchto zaměstnanců, což může do jisté míry být v souladu s negativními výsledky simulace.

Pomocí zjištěných rozdílů v přírůstcích zpoždění u těchto 29 vlaků v celkem 279 případech jízdy na nesprávnou kolej je nyní třeba vyhodnotit výsledky komplexně, čímž lze získat závěrečnou informaci o prospěšnosti odbočky Banín v provedených simulacích. Výsledky je však třeba ještě doplnit o vyhodnocení přírůstků zpoždění dříve zmíněných 140 případů využití odbočky a nesprávné koleje, kdy skutečně došlo k předjetí dvou vlaků v úseku mezi odbočkou

a přední stanicí. Výsledky jsou doplněny i o zbylých 139 případech, kdy odbočka využita byla, ale k předjetí v daném úseku nedošlo. K tomuto vyhodnocení slouží tabulka 35.

Tabulka 35: Porovnání výsledků 140 případů efektivního předjíždění po nesprávné koleji

Předjetí mezi odbočkou a přední stanicí?	Průměrný přírůstek zpoždění [s]		Rozdíl Δ zpoždění [s]
	Scénář s odbočkou	Scénář bez odbočky	
140 případů, kdy k předjetí v úseku došlo	91	206	-115
139 případů, kdy k předjetí v úseku nedošlo	188	142	+46

Zdroj: Autor

V tabulce 35 jsou znázorněny průměrné přírůstky zpoždění a jejich rozdíl v obou scénářích pro případy využití odbočky, kdy buď k reálnému předjetí mezi odbočkou a přední stanicí došlo (140 případů ano, 139 případů ne, celkem 279 případů využití odbočky). Z výsledků je patrné, že v případech, kdy k předjetí v úseku došlo, měla odbočka velmi pozitivní vliv a jejím využitím došlo k úspoře zpoždění ve výši 115 sekund. Výsledky lze interpretovat tak, že vlaky, které byly vedeny po nesprávné koleji a předjely zde pomalejší vlak, v průměru díky odbočce zkrátily zpoždění až o 2 minuty. Naopak zbylých 139 případů využití odbočky, kdy však k předjetí na trati nedošlo, měla jízda po nesprávné koleji spíše negativní dopad s celkovým průměrným přírůstkem 46 sekund oproti scénáři bez odbočky. Tyto výsledky částečně reflektují skutečnost, že v mnoha případech byla odbočka využita bez reálného smyslu a je možné, že v provozu by k takovému rozhodnutí ze strany zaměstnanců řízení provozu nedošlo.

Na závěr je třeba přehledně shrnout všechny získané výsledky simulací z obou scénářů a vzájemně je spolu porovnat. Cílem výsledného srovnání je stanovit, zda pro danou posuzovanou provozní situaci byla odbočka Banín přínosem z pohledu vlivu na stabilitu jízdového řádu. Výsledky jsou zhodnoceny nejprve pro veškerý simulovaný provoz (tj. 87 vlaků ve 100 replikacích, tedy 8700 vlaků), dále jsou výsledky rozděleny pro jednotlivé kategorie vlaků. Následně je vyhodnoceno všech 279 případů využití odbočky Banín pro jízdu po nesprávné koleji. Z těchto 279 případů pak došlo celkem ve 140 případech k efektivnímu předjetí dvou vlaků v úseku mezi odbočkou a přední stanicí a ve zbylých 139 případech k reálnému předjetí v tomto úseku nedošlo. Právě tyto dvě skupiny posuzovaných případů jsou poslední dvě položky souhrnného vyhodnocení výsledků, které je provedeno v tabulce 36.

Tabulka 36: Souhrnné výsledky hodnotící přínos odbočky Banín

	Průměrné Δ zpoždění [s]		Rozdíl [s]	Přínos ANO/NE
	Scénář s odbočkou	Scénář bez odbočky		
Provoz celkem (8700 vlaků)	-40	-35	-5	ANO
Os, Sp	+28	+36	-8	ANO
R	-122	-134	+12	NE
Ex	-24	-19	-5	ANO
Pn, Nex	-140	-134	-6	ANO
Všech 279 případů využití odbočky	+138	+173	-35	ANO
140× efektivní využití odbočky	91	206	-115	ANO
139× neefektivní využití odbočky	188	142	+46	NE

Zdroj: Autor

Z tabulky 36 je zřejmé, že pro provoz všech 8700 simulovaných vlaků byla odbočka Banín přínosným prvkem infrastruktury, který přispěl ke zvýšení stability jízdního řádu průměrnou úsporou zpoždění ve výši 5 sekund. V obecném pojetí se nejedná o nikterak významný přínos, proto je třeba pozornost věnovat zejména přínosům pro konkrétní vlaky. U osobních a spěšných vlaků došlo ke zkrácení průměrného přírůstku zpoždění o 8 sekund, což je dáno např. nižší potřebou vyčkávání těchto vlaků ve stanici kvůli předjíždění, které díky odbočce mohlo být uskutečněno až v mezistaničním úseku. U vlaků Ex a také u nákladních vlaků Pn nebo Nex došlo k posílení možnosti krátit zpoždění v průměru o 5, resp. 6 sekund. U vlaků kategorie R lze pozorovat nárůst zpoždění, který do jisté míry lze vysvětlit určitou redistribucí zpoždění z vlaků vyšší kategorie. Významný přínos je patrný u konkrétních vlaků, které odbočku skutečně využily pro předjíždění. Zde došlo k průměrné úspoře přírůstku zpoždění ve výši 35 sekund pro všech 279 případů. Ve sledovaných 140 případech efektivního předjíždění činila úspora téměř 2 min, naproti tomu ve zbylých 139 případech došlo k nárůstu zpoždění průměrně o 46 sekund.

Mnohé negativní výsledky vznikly např. z důvodu špatného rozhodnutí o volbě traťové koleje při simulaci. Ne zcela optimální rozhodování může být způsobeno také nedokonalou kalibrací modelu, která je dána průnikem dvou aspektů – rozsahu používaných základních možností softwaru v uživatelském rozhraní a omezeného časového fondu při individuálním zpracování diplomové práce, který neumožňuje např. individuální vložení dalších podmínek (např. přes rozhraní API, které je spojeno s programováním, avšak takto detailní postup v použitém softwaru již není předmětem výuky na Dopravní fakultě Jana Pernera).

4 Diskuze

V této kapitole budou diskutovány některé zjištěné poznatky a výsledky simulací, které by mohly podněcovat k dotazům a různým úhlům pohledu na zkoumanou problematiku.

Prvním bodem k diskuzi je samotná odbočka Banín a její modelovaná konfigurace. Vzhledem k velmi omezeným informacím, které autor o plánované výstavbě odbočky získal, bylo nutné některé její parametry zvolit, resp. odhadnout. Jedná se zejména o konkrétní kilometrickou polohu samotné odbočky a jejích návěstidel. Kilometrické polohy proto byly v modelu zvoleny tak, aby mohla být odbočka plynule zařazena do stávající konfigurace trati a zde umístěných oddílových návěstidel automatického bloku. Bylo tak učiněno za dodržení předepsaných zábrzdých vzdáleností. Vzhledem k tomu, že úlohou simulace bylo ověření využitelnosti této odbočky, není kilometrická poloha s přesností na 3 desetinná místa až tak rozhodující, aby tím mohl být výzkum zásadně ovlivněn, nicméně k drobným méně významným odchylkám může z tohoto titulu dojít. Zejména v budoucnu, po případném vývoji a upřesňování záměru vybudovat tuto odbočku, je důsledně doporučeno porovnat situaci v projektu se zde uvažovanými předpoklady, aby mohlo případně dojít ke korektní interpretaci zde dosažených výsledků.

Dalším možným tématem diskuze mohou být výsledky z analytických výpočtů a simulací cíleného zatěžování odbočky dvojicemi vlaků v kapitole 3.1. Samotný výpočet i výsledky simulací z hlediska hodnot mezidobí byly posuzovány jako zcela ideální varianty z hlediska zpoždění. To znamená, že nebyl tolerován žádný přírůstek zpoždění 2. vlaku vlivem konfliktu s před ním jedoucím 1. vlakem. Jakmile by mělo dojít k prodloužení jízdní doby 2. vlaku, byl již výsledek uvažován jako nepřijatelný a byla proto doporučena alternativní varianta (např. jízda po nesprávné koleji v celém mezistaničním úseku již ze zadní stanice). Výpočet i simulace však pracuje se zjednodušujícími předpoklady, proto nelze výsledky přijímat s naprostou přesností jako dogma, ale pouze jako určité přijatelné hranice, které daný problém dobře popisují. Proto nelze získané hodnoty mezidobí např. využít jako přesný „návod“ pro výpravčí nebo dispečery, při jakých hodnotách mezidobí je vhodné konkrétní vlak vést z odbočky po nesprávné koleji. Vždy je třeba přihlížet k místním faktorům, aktuální provozní situaci (vč. situace v opačném směru a včetně aktuálního obsazení staničních kolejí přední stanice), vytiženosti zaměstnance, provozuschopnosti zabezpečovacího zařízení a dalším faktorům, které lze v simulaci jen těžko zohlednit. V praxi mohou časové hodnoty, při kterých je výhodné odbočku využívat, být určitou pomůckou, ale vždy je třeba počítat s nastáním neočekávané situace, jako např. náhlá porucha vozidla na trati, zvýšená frekvence cestujících při nástupu do osobního vlaku na mezilehlé zastávce a jiné, které mohou i nejlépe naplánované a předem

spočítané předjíždění dvou vlaků narušit. Získané výsledky je proto třeba přijmout jako určitý pohled na problematiku využitelnosti odboček, která může být ovlivněna právě vzájemným mezidobím mezi dvěma vlaky a rozdílem jejich rychlostí.

Dále lze diskutovat výsledky počtu využití nesprávné koleje při simulaci reálného provozu z GVD 2020 v kapitole 3.2. Z celkového počtu 279 využití odbočky Banín bylo 110 směr Svitavy a 169 směr Březová nad Svitavou. Hodnoty mohou úzce souviset s umístěním odbočky v mezistaničním úseku. Vzhledem k tomu, že odbočka není umístěna přesně v polovině úseku, ale je blíže k žst. Březová n. S., lze předpokládat, že právě to je důvodem vyššího počtu využití odbočky v tomto směru. To je dáno zejména kratší jízdou mezi odbočkou a Březovou nad Svitavou, tzn. kratší dobou obsazení nesprávné koleje a tím pádem kratší dobou jejího blokování pro vlaky opačného směru. Pro využití odbočky a nesprávné koleje v tomto směru je tak menší pravděpodobnost výskytu vlaku opačného směru, který by touto jízdou mohl být narušen. Naproti tomu při využití odbočky pro jízdu do žst. Svitavy po nesprávné koleji je doba obsazení nesprávné koleje delší, tzn., že za tuto delší dobu již může s vyšší pravděpodobností nastat situace, kdy se zde vyskytne vlak opačného směru, pro který by mohla být jeho správná kolej blokována. Zároveň je však zajímavé porovnání s analytickým výpočtem a deterministickou simulací cíleného zatěžování odbočky v kapitole 3.1, u kterého byl závěrem naopak větší potenciál směru do žst. Svitavy. To lze právě vysvětlit provozem vlaků opačným směrem, který ve výpočtu ani v deterministické simulaci cíleného zatěžování odbočky nebyl zohledňován.

Výsledky stochastické simulace reálného GVD 2020, ale i deterministické simulace dvojic vlaků ve sledu z předchozí části, mnohdy vykazovaly poměrně vysoké přírůstky zpoždění, které by v praxi byly jen těžko přípustné. V mnoha situacích OpenTrack vyhodnotil jízdu vlaku na nesprávnou kolej bez reálného smyslu a často i s velmi negativním dopadem na vlak opačného směru. Tyto případy jsou přisuzovány jak absenci vnořené simulace, která nebyla využita, tak také omezeným možnostem na důkladnější a podrobnější nastavení, resp. kalibraci modelu např. pomocí programování přes rozhraní API. Mnohdy by však právě těmito negativním výsledkům mohlo být zabráněno, pakliže by mohl OpenTrack předem vyhodnotit, co se stane, když zvolí konkrétní variantu řešení a z možných variant vybere tu nejvhodnější. I z toho plyne, že výsledky simulace je třeba vždy posuzovat v širším kontextu a v souvislostech. Z těchto důvodů bylo např. v kapitole 3.1 vždy přistoupeno ke korekcím výsledků simulace na základě přírůstků zpoždění, čímž byly eliminovány nepřesné nebo nereálné výsledky simulace. Současně byly výsledky porovnávány s analytickým výpočtem, který posloužil také jako nástroj kalibrace.

Jednou z posledních věcí k diskuzi mohou být výsledné časové hodnoty „úspory“ zpoždění díky využití odbočky, které byly dosaženy a vyhodnoceny v kapitole 3.2.3. Bude-li hodnocen přínos odbočky pouze na základě výše rozdílu přírůstku zpoždění za všechny vlaky, který v případě této práce vyšel s hodnotou -5 sekund, může se takový výsledek zdát na první pohled nedostatečný. Je však třeba brát v úvahu, že se jedná o průměrnou hodnotu za všech 87 vlaků ve 100 replikacích, tedy 8700 jízd, z nichž ne všechny jsou uskutečňovány v kritickém úseku. S tím souvisí také četnost využití odbočky ve výši 279 případů, z čehož je zřejmé, že právě 279 případů v 8700 simulovaných jízdách rovněž nemůže v průměrných hodnotách vykazovat tak markantní přírůstky, resp. úspory zpoždění, aby bylo možné prezentovat výsledky ve výši ušetřených minut. Proto je třeba výsledky prezentovat spolu s výsledky pro konkrétních 279 případů využití odbočky, u kterých je celková průměrná úspora zpoždění již ve výši 35 sekund. Je zřejmé, že uspořená půlminuta v jednom mezistaničním úseku není tak markantní, avšak vznikne-li v celé trase vlaku (např. u EC z Prahy do Vídně) více takových odboček v kritických místech, může takových půlminutových úspor být více, čímž již lze uspořit hned několik minut. Zrovna tak je vhodné prospěšnost odbočky prezentovat na základě 140 případů jejího efektivního využití, kdy reálně došlo k předjetí dvou vlaků v úseku mezi odbočkou a přední stanicí. V těchto případech došlo díky odbočce k průměrné úspoře přírůstku zpoždění těchto vlaků ve výši -115 sekund, tedy téměř 2 minuty v podobě krácení zpoždění.

Na závěr je třeba opět zdůraznit fakt zmíněný v úvodní části této práce, a sice hlavní účel těchto odboček, tedy zvýšení kapacity tratí při výlukách. Tento fakt je zcela nezpochybnitelný a svědčí o něm i množství dalších nově plánovaných odboček, které budou v budoucnu na síti Správy železnic, státní organizace vybudovány. Jmenovitě lze zmínit např. odbočku Sruby mezi stanicemi Choceň a Zámorsk, odbočku Jezernice v úseku Drahotuše – Lipník nad Bečvou, odbočku Vrážné mezi stanicemi Polom – Suchdol nad Odrou nebo např. odbočku Berounka v úseku Praha-Radotín – Dobřichovice. Tyto odbočky by měly být zřízeny v nadcházejících 10 letech. Je zřejmé, že odbočky se nachází ve velmi vytížených traťových úsecích, kde zejména při výlukách pomohou při dosahování přijatelné úrovně kvality provozu. Je však třeba očekávat, že i na základě výzkumu v této práci budou tyto odbočky mít reálný smysl také pro běžný provoz mimo výluková období a pomohou např. při řešení konfliktů mezi vlaky jedoucími ve sledu. Určitý potenciál mají tyto odbočky také pro budoucí plánování jízdních řádů a poloh tras jednotlivých vlaků (35).

Závěr

V první kapitole byly nejprve posouzeny přínosy odboček pro výlukový provoz pomocí odvození konkrétních vztahů pro výpočet propustnosti. Dále byly analyzovány vlastnosti mezistaničních úseků, které jsou vhodným předpokladem pro zřízení odboček, což bylo také názorně vysvětleno na příkladech odboček Tatce, Cerhenice, Bezpráví, Svitava a Rajhrad. Následně byly analyzovány základní faktory ovlivňující využití odboček pro předjíždění vlaků po nesprávné koleji. K tomu byla navržena metodika, jak lze posuzovat využitelnost odboček pro předjíždění pomocí tzv. efektivního pásma vstupu 2. vlaku do mezistaničního úseku. Tyto faktory byly následně předmětem simulačního posouzení pomocí modelu odbočky Banín v programu OpenTrack.

Byl vytvořen model reálného úseku trati Skalice nad Svitavou – Česká Třebová, do kterého byla zahrnuta v budoucnu plánovaná odbočka Banín v mezistaničním úseku Březová nad Svitavou – Svitavy. Model trati o délce 54 km zahrnuje 6 stanic, 10 zastávek a 2 odbočky.

Ve třetí kapitole bylo nejprve analyticky (výpočtem) a následně deterministickou simulací provedeno cílené zatěžování odbočky dvojicemi vlaků ve sledu. Výsledkem jsou intervaly mezidobí (viz výše zmíněné efektivní pásmo vstupu 2. vlaku do mezistaničního úseku), při kterých pro danou typovou dvojici vlaků lze uskutečnit efektivní předjetí pomalého 1. vlaku rychlejším 2. vlakem po nesprávné koleji mezi odbočkou a přední stanicí.

Stěžejní částí výzkumu byla stochastická simulace reálného provozu z GVD 2020 ve dvou scénářích, z nichž první umožňoval využití odbočky Banín pro předjíždění a druhý nikoliv. V každém scénáři (zahrnujícím 87 vlaků) bylo provedeno 100 replikací s využitím stochasticky generovaného vstupního zpoždění. Výsledky byly posuzovány na základě přírůstků zpoždění.

Ve 100 replikacích 1. scénáře byla odbočka využita celkem 279krát, s výsledkem průměrného krácení zpoždění o 35 s v porovnání s 2. scénářem. Ve 140 případech efektivního předjíždění činila úspora zpoždění průměrně 115 s, tzn. téměř 2 min. Byly tedy dosaženy pozitivní výsledky z pohledu stability jízdního řádu, čímž byl potvrzen přínos odbočky jak pro celkový provoz, tak pro konkrétní vlaky, které odbočku využily pro předjíždění. Přínos lze hodnotit jak kvantitativně podle přírůstku zpoždění, tak kvalitativně např. z pohledu snížení potřeby zastavování nákladních vlaků a jejich energeticky neefektivního rozjíždění z důvodu předjíždění vlakem vyšší kategorie nebo z pohledu cestujících a vazby zpoždění na kvalitu cestování, zajištění přípojných vazeb apod.

Závěrem lze konstatovat, že výzkumem byla prokázána prospěšnost projektované odbočky Banín ve vztahu k předjíždění vlaků a celkové stabilitě jízdního řádu. Výsledky mohou být aplikovatelné i pro jiné odbočky s podobnými parametry a konfigurací mezistaničního úseku.

Seznam použitých informačních zdrojů

- (1) SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace. *SŽ D1 ČÁST PRVNÍ: Dopravní a návěstní předpis pro tratě nevybavené evropským vlakovým zabezpečovačem* [online]. Správa železnic, státní organizace, 2022 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://provoz.spravazeleznice.cz/Portal/ViewDirective.aspx?oid=1946316>
- (2) GAŠPARÍK, Jozef a Jiří KOLÁŘ. *Železniční doprava: technologie, řízení, grafiky a dalších 100 zajímavostí*. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0058-3.
- (3) *SŽDC D1: Dopravní a návěstní předpis* [online]. 2013. Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 2013 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://provoz.spravazeleznice.cz/Portal/ViewArticle.aspx?oid=136>
- (4) MOLKOVÁ, Tatiana. *Kapacita železničních tratí*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2010. ISBN 978-80-7395-317-1.
- (5) VONKA, Jaroslav, Tatiana MOLKOVÁ a Jaromír ŠIROKÝ. *Technologie a řízení dopravy II. - GVD*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2000. ISBN 80-7194-286-3.
- (6) ŠTEFEK, Petr. *Správa železnic buduje stabilní odbočky na I. koridoru. Stránky Přátel Železnic* [online]. 2021 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://spz.logout.cz/novinky/novinky.php?poradi=1900>
- (7) SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace. *Plánky stanic: Odbočka Cerhenice, Odbočka Tatce*. Interní materiály Správy železnic, státní organizace.
- (8) SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace. *Tabulky traťových poměrů: TTP 501A: 1. umístění určených technických zařízení a technicko-provozní parametry dráhy*. Interní materiály Správy železnic, státní organizace, 2023.
- (9) KRÝŽE, Pavel a Martin BEDNÁR. *Denní počty skutečně jedoucích vlaků v období 1. leden – 15. březen 2020. Portál provozování dráhy* [online]. 2020 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://provoz.spravazeleznice.cz/Portal/ViewArticle.aspx?oid=2066101>
- (10) SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace. *Plánky stanic: Odbočka Bezpráví*. Interní materiály Správy železnic, státní organizace.
- (11) *Rekonstrukce úseku Ústí nad Orlicí – Brandýs nad Orlicí. SPRÁVA ŽELEZNIC* [online]. Správa železnic, státní organizace [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznice.cz/zupce/navazujici-projekty/rekonstrukce-useku-usti-nad-orlici-brandys-nad-orlici>

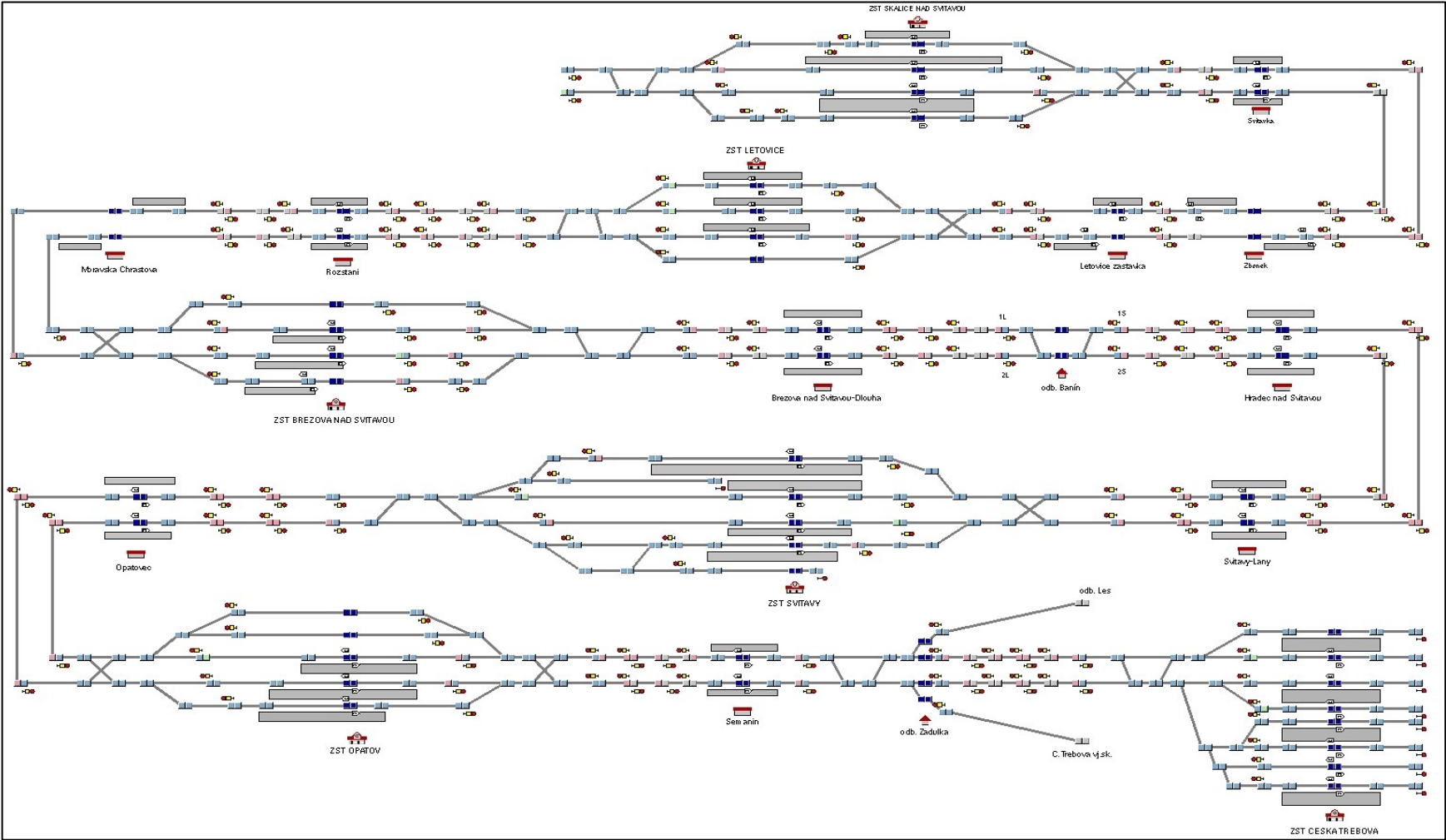
- (12) SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace. *Plánky stanic: Odbočka Svitava, Odbočka Brno-Židenice, ŽST Brno-Maloměřice*. Interní materiály Správy železnic, státní organizace.
- (13) SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace. *Tabulky traťových poměrů: TTP 326A: 1. umístění určených technických zařízení a technicko-provozní parametry dráhy*. Interní materiály Správy železnic, státní organizace, 2023
- (14) SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace. *Tabulky traťových poměrů: TTP 320A: 1. umístění určených technických zařízení a technicko-provozní parametry dráhy*. Interní materiály Správy železnic, státní organizace, 2023.
- (15) PERNIČKA, Jaromír. Odbočka Rajhrad. *Železniční magazín*. 2022 (1).
- (16) KRÝŽE, Pavel a Martin BEDNÁR. Denní počty skutečně jedoucích vlaků v období 1. leden – 31. březen 2022. *Portál provozování dráhy* [online]. 2022 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://provoz.spravazeleznic.cz/portal/viewarticle.aspx?oid=594598>
- (17) Informace o stavbě E-14: DOZ Skalice nad Svitavou (mimo) - Česká Třebová. *Interaktivní mapa Správy železnic* [online]. Správa železnic, státní organizace, 2023 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://mapy.spravazeleznic.cz/stavba/E-14>
- (18) SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace. *Tabulky traťových poměrů: TTP 326A: 6. Traťové poměry rozhodující o traťové rychlosti*. Interní materiály Správy železnic, státní organizace, 2023.
- (19) TABULKY TRAŤOVÝCH POMEROV. *ŽSR* [online]. 2023 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.zsr.sk/dopravcovia/infrastruktura/tabulky-tratovych-pomerov/>
- (20) Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO): § 4 Begriffserklärungen. *Bundesministerium der Justiz* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://www.gesetze-im-internet.de/ebo/_4.html
- (21) Schienennetz 2025 / 2030: Ausbaukonzeption für einen leistungsfähigen Schienengüterverkehr in Deutschland. *Umwelt Bundesamt* [online]. 2010 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/schienennetz-2025-2030>
- (22) *OpenRailwayMap* [online]. 2023 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.openrailwaymap.org/>
- (23) Westbahn (Österreich). *WIKIPEDIA: Die Freie Enzyklopädie* [online]. 2023 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: [https://de.wikipedia.org/wiki/Westbahn_\(%C3%96sterreich\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Westbahn_(%C3%96sterreich))

- (24) Posterunki odgałęźne. *SEMAFOREK* [online]. 2022 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://semaforek.kolej.org.pl/wiki/index.php/Posterunki_odga%C5%82%C4%99%C5%BAne
- (25) Pociągi i nowy posterunek już na CMK. *PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.* [online]. 2017 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.plk-sa.pl/o-spolce/biuro-prasowe/informacje-prasowe/szczegoly/pociagi-i-nowy-posterunek-juz-na-cmk-3444>
- (26) Biała Rawska. *SEMAFOREK* [online]. 2018 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://semaforek.kolej.org.pl/wiki/index.php/Bia%C5%82a_Rawska
- (27) Knapówka. *SEMAFOREK* [online]. 2019 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://semaforek.kolej.org.pl/wiki/index.php?title=Knap%C3%B3wka>
- (28) Pieńsk. *SEMAFOREK* [online]. 2023 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://semaforek.kolej.org.pl/wiki/index.php?title=Pie%C5%84sk>
- (29) Jędrzychowice. *SEMAFOREK* [online]. 2023 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://semaforek.kolej.org.pl/wiki/index.php?title=J%C4%99drzychowice>
- (30) KRÝŽE, Pavel. Nová metodika zjišťování kapacity dráhy. *Vědeckotechnický sborník Správy železnic č. 3/2020* [online]. Správa železnic, státní organizace, 2020 [cit. 2023-04-25].
- (31) BULÍČEK, Josef. *Modelování technologických procesů v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2011. Monografie. ISBN 978-80-7395-442-0.
- (32) Simulace železnice. *OpenTrack Railway Technology* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://www.opentrack.cz/opentrack_cz.html
- (33) ČAPEK, Jan a Martin IBL. Modelování a simulace: distanční opora [CD-ROM]. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2020. ISBN 978-80-7560-332-6.
- (34) SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace. *Nákresný jízdní řád: List 326*. Interní materiály Správy železnic, státní organizace, 2019.
- (35) Interaktivní mapa Správy železnic. *Interaktivní mapa Správy železnic* [online]. Správa železnic, státní organizace, 2023 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://mapy.spravazeleznic.cz/>

Seznam příloh

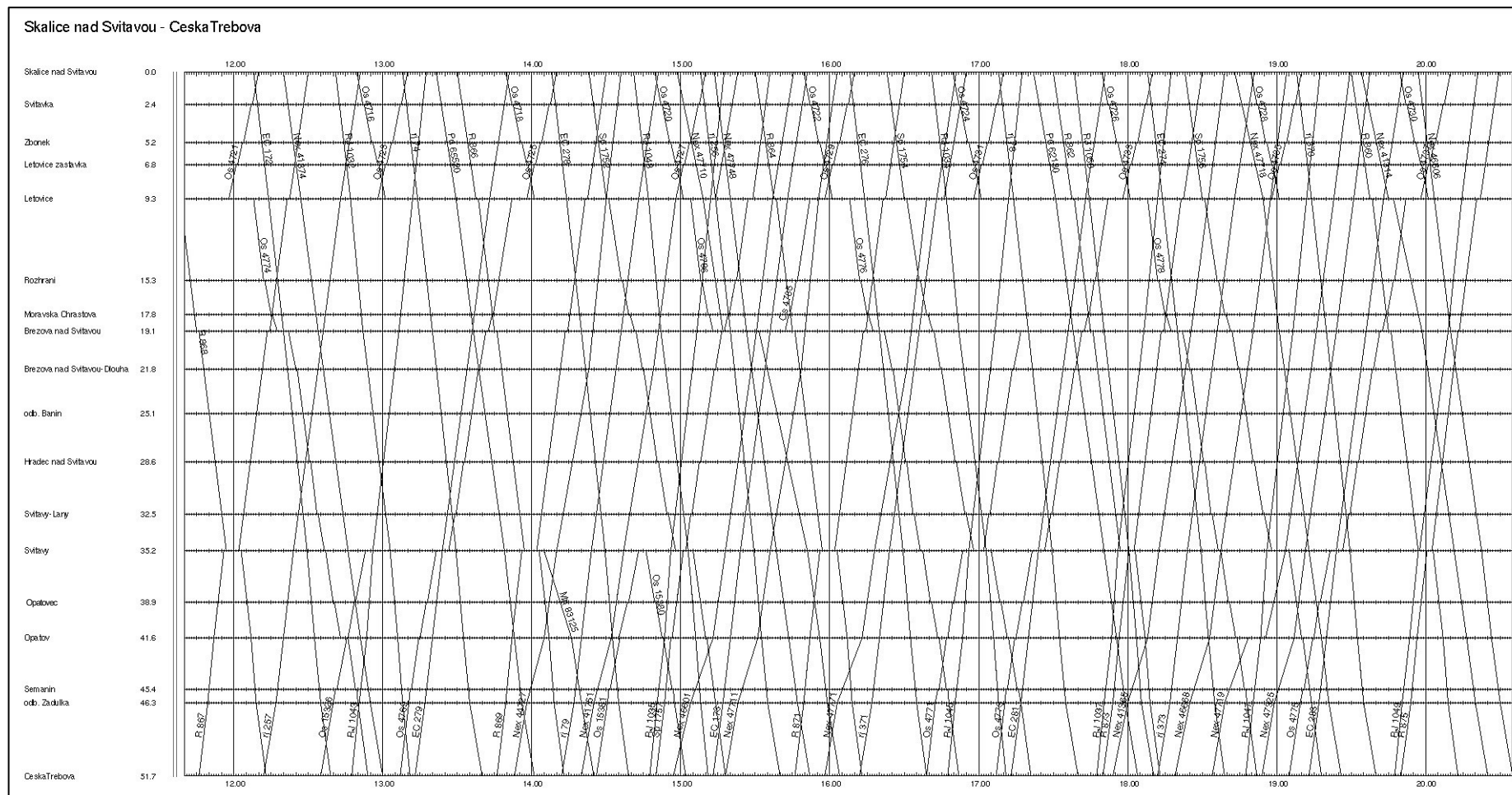
Příloha A: Model traťového úseku Skalice nad Svitavou – Česká Třebová	102
Příloha B: Nákrešný jízdní řád z GVD 2020 v softwaru OpenTrack	103

Příloha A: Model traťového úseku Skalice nad Svitavou – Česká Třebová



Zdroj: Autor

Příloha B: Nákrešný jízdní řád z GVD 2020 v softwaru OpenTrack



Zdroj: Autor na podkladě (34)