

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta stavební

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2021

Matouš Horák



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB

INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

RYCHLOST VLAKŮ NA VYBRANÉM ÚSEKU TRATĚ

TRAIN SPEED ON THE SELECTED LINE SECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matouš Horák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RICHARD SVOBODA, Ph.D.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB

INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

RYCHLOST VLAKŮ NA VYBRANÉM ÚSEKU TRATĚ

TRAIN SPEED ON THE SELECTED LINE SECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matouš Horák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RICHARD SVOBODA, Ph.D.

BRNO 2021

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá zjišťováním rychlosti vlaků v daném úseku. V první části je popsána přímá metoda měření „in situ“ a zpracování takto získaných dat. V druhé části je popsán odlišný způsob, a sice modelování v programu OpenTrack, následuje srovnání výsledků z takto provedené simulace s reálnými naměřenými hodnotami

KLÍČOVÁ SLOVA

Rychlost, teoretické převýšení, nedostatek převýšení, přebytek převýšení

ABSTRACT

The bachelor's thesis is engaged in finding out speed of trains in particular section of the railway track. The first part describes a direct method of measure „in situ“ and processing the data acquired this way. The second part describes the other way, namely modeling in programme OpenTrack, then follows comparison the results from this simulation with real measured values.

KEYWORDS

speed, equilibrium cant, cant deficiency, cant excess

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Matouš Horák *Rychlost vlaků na vybraném úseku tratě*. Brno, 2021. 34 s., 44 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí práce Ing. Richard Svoboda, Ph.D.

Brno, 2021

Matouš Horák

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Rychlost vlaků na vybraném úseku tratě* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 17. 5. 2021

Matouš Horák
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Rychlost vlaků na vybraném úseku tratě* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 17. 5. 2021

Matouš Horák
autor práce

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl velmi poděkovat svému vedoucímu, Ing. Richardu Svobodovi, Ph.D., za ochotu a pomoc při práci a Ing. Janu Valehrachovi za pomoc při měření.

V Brně, 28. května 2021

Rejstřík

1. Úvod	8
2. Teoretická část	9
2.1. Normy a předpisy	9
2.2. Převýšení	9
2.2.1. Teoretické převýšení a jeho odvození	9
2.2.2. Přebytek a nedostatek převýšení.....	10
2.2.3. Doporučené převýšení.....	11
2.3. Rozjezd vlaku a rychlost vlaku	12
2.3.1. Nejvyšší rychlost	12
2.3.2. Trakční charakteristika.....	13
3. Cíle.....	14
4. Měření „in situ“	15
4.1. Charakteristika úseku	15
4.1.1. Charakteristika provozu	15
4.1.2. Stavební charakteristika úseku	15
4.2. Metodika měření a instrumentace	16
4.2.1. Lokalita „Hády“	17
4.2.2. Lokalita „Babice“.....	18
4.2.3. Průběh měření	19
4.3. Zpracování naměřených dat	19
5. Modelování v programu OpenTrack.....	21
5.1. Úvod do programu OpenTrack	21
5.2. Tvorba polygonu	21
5.2.1. Trať.....	21
5.3. Simulace	24
5.4. Vyhodnocení dat.....	27
5.4.1. Grafický výstup.....	27
5.4.2. Měřicí bod	28
6. Srovnání obou metod	29
7. Ověření nastavení převýšení	30
8. Závěr	31
9. Použité prameny	32
10. Seznam použitých zkratk.....	32
11. Seznam obrázků a tabulek	33
Seznam obrázků:	33
Seznam tabulek:	33
Seznam příloh:	34

1. Úvod

Převýšení koleje je jedním ze základních konstrukčních parametrů GPK, při nastavení jeho hodnoty hraje klíčovou roli předpokládaná rychlost kolejových vozidel při průjezdu obloukem. Ve většině případů je jako předpokládaná rychlost uvažována traťová rychlost. Na některých tratích je však struktura provozu značně rozdílná, přičemž hodnoty rychlostí se mohou mezi jednotlivými kategoriemi vlaků značně lišit, ještě hůře řešitelná situace nastává v místech, kde dochází ke změně rychlosti vlaků, například v oblasti návěstidel nebo zastávek.

Špatné nastavení převýšení může vést ke vzniku vad na styku kolo-kolejnice, jak na straně vozidel, tak infrastruktury.

Pozornost přesnějšímu nastavení převýšení nebyla dosud věnována. Účelem této práce je zhodnotit dva přístupy k tomuto problému – jednak přesnou metodou přímého měření, která je však velmi pracná, tudíž ne příliš použitelná v projekční praxi, jednak metodou počítačového modelování, tato metoda je sice znatelně rychlejší, ovšem panují dohady o relevantnosti takto získaných údajů.

2. Teoretická část

2.1. Normy a předpisy

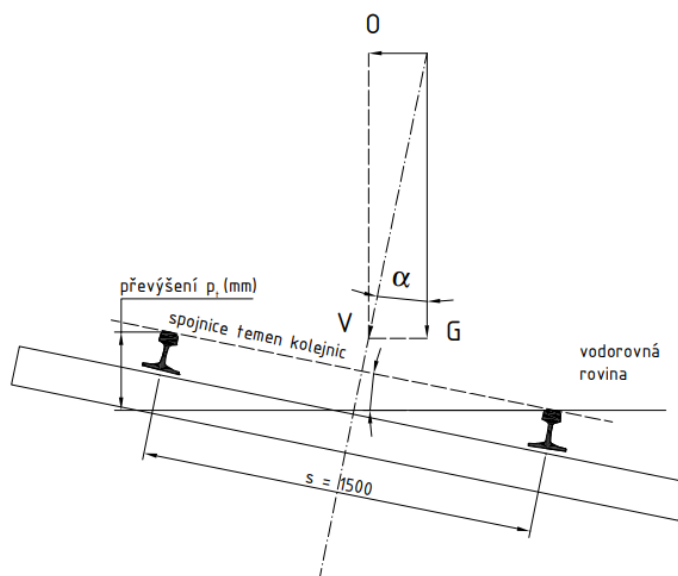
Výchozími prameny k výpočtu hodnoty převýšení posloužila norma ČSN 73 6360-1 *Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 1, Projektování* a dále *Vyhláška č. 177/1995 Sb. Stavební a technický řád drah*.

Pro parametry spojené s rychlostí vlaků byl výchozím dokumentem předpis Správy železnic *D1 Dopravní a návěstní předpis ve znění změn č. 1 až 4*

2.2. Převýšení

2.2.1. Teoretické převýšení a jeho odvození

Při průjezdu kolejového vozidla obloukem vzniká odstředivá síla. Ta je závislá jednak na hmotnosti vozidla jednak na čtverci rychlosti, a nepřímo úměrná poloměru oblouku



Obrázek 1: Teoretické převýšení

$$O = m \frac{v^2}{R}$$

Rovnice 1; Odstředivá síla

Působení odstředivé síly v obloucích se snažíme eliminovat převýšením. Eliminace probíhá tak, že se snažíme docílit, aby výslednice odstředivé síly a vlastní tíhy projevila jako přitížení kolmo na spojnici temen kolejnic.

Z obrázku je patrné, že odstředivá síla O a vlastní tíha G jsou odvěsnami pravoúhlého trojúhelníka

$$tg\alpha = \frac{O}{G} = \frac{\frac{mvV^2}{R}}{mg} ; g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$$

Po zkrácení hmotností a vydělením koeficientem $(3,6)^2$ pro přepočítání na km/h, dostáváme vztah:

$$tg\alpha = \frac{v^2}{12,96Rg}$$

Z druhého pravoúhlého trojúhelníka platí:

$$\sin\alpha = \frac{D_{eq}}{s} ; s = 1,5 \text{ m}$$

Protože úhel α je dostatečně malý, lze tvrdit, že hodnoty $\sin\alpha$ a $tg\alpha$ jsou si rovny

$$\frac{D_{eq}}{s} = \frac{v^2}{12,96Rg}$$

Po vyčíslení konstant g a s dostáváme výsledný tvar:

$$D_{eq} = \frac{11,8v^2}{R}$$

2.2.2. Přebytek a nedostatek převýšení

Při dané rychlosti nevznikají při průjezdu vozidla obloukem účinky od odstředivé síly. Pokud ovšem vozidlo obloukem projíždí jinou rychlostí, tyto účinky vznikají, vyjadřujeme je pojmy přebytek a nedostatek převýšení. Pokud vozidlo obloukem projíždí větší rychlostí, než která odpovídá hodnotě pro teoretické převýšení, dochází k nedostatku převýšení:

$$I = \frac{11,8v^2}{R} - D$$

Pokud je rychlost nižší, než která odpovídá hodnotě pro teoretické převýšení, pak dochází k přebytku převýšení

$$E = D - \frac{11,8v^2}{R}$$

Nedostatek ani přebytek převýšení nemohou dosahovat záporných hodnot.

Mezní hodnoty pro nedostatek převýšení pro vozidla běžné stavby činí 100 mm, pro zvláště určená vozidla může činit 130 a 150 mm, pro vozidla s naklápěcími skříněmi až 270 mm.

Mezní hodnota pro přebytek převýšení činí 80 mm a maximální hodnota 110 mm.

2.2.3. Doporučené převýšení

Teoretické převýšení eliminuje celou složku odstředivé síly, na tratích s provozem různých typů vlaků však není vhodné, navrhuje se tedy doporučené převýšení:

$$D_{N1} = \frac{7,1v^2}{R}; v \leq 120 \text{ kmh}^{-1}$$

$$D_{N2} = \frac{6,5v^2}{R}; 160 \text{ kmh}^{-1} \geq v > 120 \text{ kmh}^{-1}$$

$$D_{N3} = \frac{5,9v^2}{R}; v > 160 \text{ kmh}^{-1}$$

Limitní hodnota převýšení koleje činí 120 mm, respektive 150 mm u tratí, na nichž je provozní zatížení nižší než 20 mil.hrt/rok.

Maximální hodnota převýšení činí 160 mm, respektive v obloucích malých poloměrů:

$$D_{max} = \frac{R - 50}{1,5}; R < 290m$$

Hodnoty převýšení menší než 20 mm se nenavrhují.

Pokud hodnota by hodnota navrhovaného převýšení překračovala mezní hodnotu, navrhne se právě mezní hodnota a ověří se, že není překročena mezní hodnota nedostatku převýšení.

Hodnoty doporučeného převýšení lze použít, neznáme-li strukturu provozu. Pokud známe dílčí rychlosti a podíl vlaků, které těchto rychlostí dosahují, pak se doporučené převýšení vypočítá jako vážený průměr z doporučených převýšení pro tyto rychlosti.

Při návrhu převýšení koleje je nutné brát v úvahu nejen traťovou rychlost, ale také místa, kde dochází k zastavování vozidel, u vjezdových a odjezdových návěstidel je tento požadavek zřetelný, složitější je situace u oddílových návěstidel, nebo dokonce u návěstidel autobloku. Tedy bychom měli při návrhu převýšení brát v úvahu rychlosti, jakých je vozidlo schopné dosáhnout a tuto úlohu bychom měli řešit u každého oddílu autobloku. Tato úloha tak přestává být běžným způsobem řešitelná, otvírá se tak řešení pomocí simulačních programů.

Problematické je rovněž řešení nástupišť v obloucích s převýšením. Stojící vozidlo s nulovou rychlostí má přebytek převýšení roven hodnotě převýšení koleje, což omezuje hodnotu převýšení. U rekonstruovaných nebo nových nástupišť nemá být hodnota převýšení vyšší než 60 mm a nesmí překročit hodnotu 100 mm. Nejlepším řešením je samozřejmě nástupiště v obloucích s převýšením vůbec nenavrhovat, ale obzvláště při vedení tratě členitým terénem a zároveň za požadavku na vedení v původní stopě, se tomuto řešení nedá vyhnout. V krajním případě mohou právě mezní hodnoty přebytku převýšení zabránit zvýšení rychlosti.

2.3. Rozjezd vlaku a rychlost vlaku

2.3.1. Nejvyšší rychlost

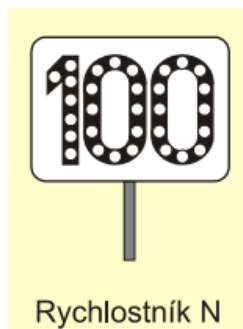
Dle předpisu D1 je nejvyšší povolená rychlost v daném úseku nejmenší z těchto hodnot:

- Trafová rychlost
- Přechodné omezení traťové rychlosti
- Maximální rychlost
- Rychlostí návěstěnou hlavními návěstidly

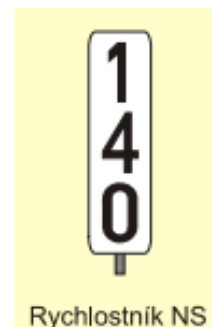
Maximální rychlostí se ve smyslu tohoto předpisu rozumí maximální rychlost drážního vozidla nebo speciálního drážního vozidla.

Trafová rychlost se dále dělí na základní traťovou rychlost, na traťovou rychlost pro vozidla s povoleným nedostatkem převýšení $l = 130 \text{ mm}$, na traťovou rychlost pro vozidla s naklápěcími skříněmi a traťovou rychlost pro vozidla s přechodností třídy 3.

Místa se změnou traťové rychlosti jsou vymezena rychlostníky a hlavními návěstidly, vlak smí rychlost zvyšovat až poté, co poslední vozidlo mine tento rychlostník návěstidlo, nebo obvod výhybek příslušející k návěstidlu, jedinou výjimkou je rychlostník doplněný tabulkou se siluetou lokomotivy, v tomto případě je možné rychlost zvyšovat už poté, co čelo prvního vozidla mine tento rychlostník. V případě snižování rychlosti musí jet vozidlo sníženou rychlostí nejpozději v místě, kdy čelo prvního vozidla mine rychlostník nebo návěstidlo.



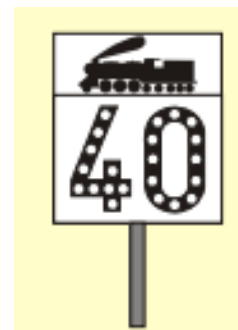
Obrázek 5: Rychlostník pro základní traťovou rychlost



Obrázek 4: Rychlostník pro vozidla s naklápěcími skříněmi



Obrázek 2: Rychlostník pro vozidla s přechodností třídy 3



Obrázek 3: Rychlostník s doplňkovou tabulkou

2.3.2. Trakční charakteristika

Trakční charakteristika popisuje závislost mezi tažnou silou a rychlostí. Pokud má vozidlo konstantní výkon, pak tažná síla s rostoucí rychlostí klesá. Na průběh trakční charakteristiky má vliv také typ pohonu a ovládání, pak se trakční charakteristika mění buď kontinuálně, nebo stupňovitě.

Měření trakčních charakteristik je prováděno dynamometrickým vozem, který má k tomuto účelu upravené tažné a narážecí ústrojí přiléhající k měřenému vozidlu. Tažný hák vozu je spojen se siloměrným ústrojím, dříve byl k tomuto účelu využíván analogový dynamometr, v současnosti se používá tenzometrický snímač a vyhodnocení probíhá na základě změny elektrických veličin

Trakční charakteristika vozidla má vliv na zrychlení vozidla a jeho maximální rychlost při



Obrázek 6: Dynamometrický vůz

dané tažné síle. U těžkých nákladních vlaků je možné, že při dané tažné síle se hnacímu vozidlu podaří dosáhnout požadované rychlosti až po dlouhé ujeté vzdálenosti, nebo se této rychlosti nepodaří dosáhnout vůbec. Nejproblematictější jsou v tomto ohledu stejnosměrné elektrické lokomotivy s odporovou elektrickou výzbrojí bez trvale zatížitelných odporů (např. řady 140; 121; 122). V tomto případě je limitujícím faktorem mezní trakční proud.

Při návrhu převýšení koleje je proto nutné brát v úvahu i trakční charakteristiky provozovaných hnacích vozidel a zohlednit v návrhu předpokládanou dráhu, na níž hnací vozidlo dosáhne předpokládané rychlosti. K této vzdálenosti je potřeba přičíst i maximální délku vlaku, protože vlak smí zrychlovat až poté, co poslední vozidlo vlaku minulo rychlostník, návěstidlo, nebo opustilo obvod výhybek příslušející k návěstidlu. Může nastat situace, že v daném místě nebude žádné vozidlo schopné dosáhnout traťové rychlosti (která bude brána jako výchozí hodnota při projektování převýšení koleje), pak budou všechny vlaky daným místem projíždět s velkým přebytkem převýšení. To může vést k rozvoji vad pojížděné hrany kolejnice, ale v důsledku přitěžování vnitřního kolejnicového pásu i k poruchám GPK.

3. Cíle

Cílem práce je provést a vyhodnotit měření rychlosti vlaků v daném úseku.

Úsek bude vybrán tak, že bude předpokládána různá rychlost projíždějících vlaků. Analýza bude provedena na reprezentativním úseku trati se silným provozním zatížením a rozdílnou strukturou provozu.

Tento cíl je možné rozdělit na tři dílčí cíle:

V prvním případě jde o měření rychlosti vlaků na zvoleném místě. Takové měření bude muset obsáhnout nejen vlastní měření rychlosti vlaků, ale i určení kategorie vlaků, aby bylo možné určit jaké kategorie vlaků dosahují jaké rychlosti.

Druhým dílčím cílem je ověření použitelnosti simulačního programu OpenTrack. Tento program by měl umožnit namodelování příslušného místa na trati a simulaci průjezdu vlaků tímto místem. Z takové simulace bude možné určit rychlost vlaků ve zvoleném místě.

A konečně, výsledným cílem bude porovnání rychlostí získaných oběma metodami a zjištění, zda je možné využít simulačního programu pro optimalizaci návrhu převýšení koleje v požadovaném místě.

Výsledkem bude výpočet doporučeného převýšení v daném úseku a porovnání se stávající hodnotou.

4. Měření „in situ“

4.1. Charakteristika úseku

Pro účely měření byl vybrán reprezentativní úsek na celostátní trati číslo Brno – Česká Třebová, konkrétně v mezistaničním úseku Brno-Maloměřice St. 6 – Adamov. Tato trať je dopravně velmi silně zatížena, a to různými kategoriemi vlaků, s různým vozovým parkem.

4.1.1. Charakteristika provozu

Osobní doprava je tvořena příměstskými osobními vlaky v půlhodinovém taktu, ve špičkách pracovních dní doplněné na čtvrt hodinový takt. Osobní vlaky jsou vedeny elektrickými jednotkami řad 640, 650 a 560, soupravami s elektrickou lokomotivou řady 242 nebo 263 a vozy běžné stavby. Vložené osobní vlaky jsou vedeny motorovými vozy a jednotkami řad 814 a 842.

Dálková osobní doprava byla v době měření představována vlaky kategorie EuroCity a railjet ve proloženém dvouhodinovém intervalu, soupravy zmíněných vlaků tvoří elektrické lokomotivy řad 383, 380 a 1216 a vozy běžné stavby, popřípadě ucelené netrakové jednotky. Rovněž ve dvouhodinovém intervalu jsou provozovány vlaky kategorie Rychlík vedené elektrickými jednotkami řady 660.

Nákladní dopravu tvoří zejména vlaky kategorie Pn a Nex, nejčastěji vedené elektrickou lokomotivou řady 363 a 383. V řádech jednotek za den se na trati pohybují i vlaky kategorie Mn, nejčastěji vedené motorovou lokomotivou řady 742 a 750.

4.1.2. Stavební charakteristika úseku

V daném úseku se opakovaně vyskytují vady mikrogeometrie, zejména skluzové vlny a nadměrné boční ojetí hlavy kolejnice. Skluzové vlny mají délku přibližně 80 mm a hloubku 0,5 mm. Možným vysvětlením výskytu těchto vad je právě nevhodně nastavená hodnota převýšení koleje.



Obrázek 6: Skluzové vlny v daném úseku

Daný úsek se nachází na dráze celostátní, dvojkolejně, ve II. rychlostním pásmu, traťová rychlost v úseku se pohybuje od 70 do 80 km/h. elektrifikované jednofázovou soustavou 25 kV 50 Hz, traťové zabezpečovací zařízení je III. kategorie, automatický blok.

Železniční svršek je po celém úseku tvořen kolejnicemi 60 E1, pražci B91S, pružným upevněním W14, po celé délce úseku je zřízeno kolejové lože, s výjimkou dvou mostů s prvkovou mostovkou (které nebyly dotčeny měřeními). Po celé délce úseku je zřízena bezстыková kolej.

Úsek prochází velmi členitým terénem, po jeho délce jsou celkem 4 tunely a 20 mostů, z toho 2 s prvkovou mostovkou.

V úseku se nachází oblouky malého poloměru - nejmenší činí 261,000 m - včetně složených oblouků bez mezilehlé přechodnice

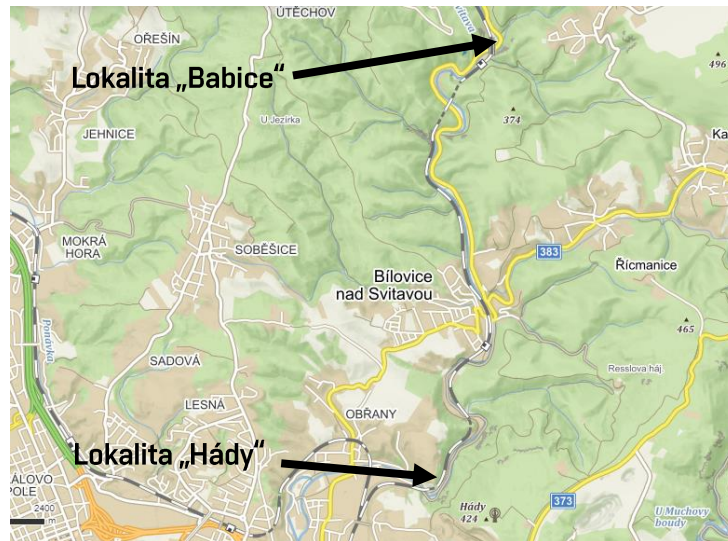
Niveleta koleje v daném úseku po celé délce stoupá s rostoucím staničením, sklony se pohybují od 0,60 ‰ do 9,24 ‰

4.2. Metodika měření a instrumentace

První částí bylo měření rychlosti přímou metodou. Na trati Brno – Česká Třebová byly vybrány dva reprezentativní úseky, ve kterých bylo podezření na nevhodně nastavené převýšení, konkrétně lokalita „Hády“ (km 161,900) a lokalita „Babice“ (km 168,000).

4.2.1. Lokalita „Hády“

V prvním případě bylo cílem ověřit rychlost vlaků, které vyjíždějí nebo vjíždějí do třídícího nádraží Brno-Maloměřice (rychlost do odbočky 60 km/h), popřípadě zastaví u vjezdového návěstidla a poté se rozjíždějí.



Obrázek 7: Poloha měřených bodů

Místo měření se nachází ve staničení km 161,900 (záznamové zařízení, 1. měřič), ve složeném oblouku s krajními přechodnicemi, bez mezilehlé přechodnice, s poloměry kružnicové části $R1 = 283,000$ m a $R2 = 300,000$ m, s převýšením $D = 123$ mm, před brněnským portálem tunelu č. 205, respektive v km 162,865 (2. měřič), před brněnským portálem tunelu č. 206. Traťová rychlost je 70 km/h

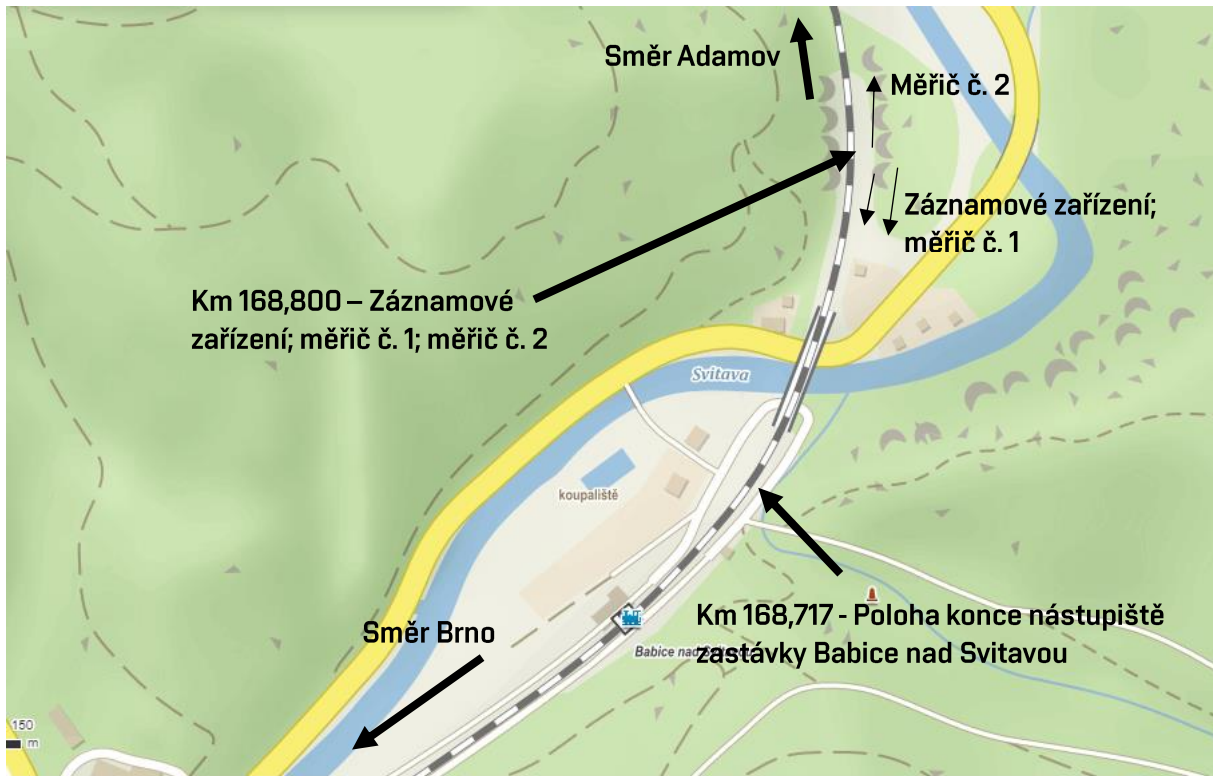


Obrázek 8: Lokalita „Hády“, situace a osazení měřicí aparatury

4.2.2. Lokalita „Babice“

Druhou lokalitou bylo okolí zastávky Babice nad Svitavou, kde bylo naopak prověřována rychlost osobních vlaků, které se rozjíždějí z této zastávky.

Místo měření se nachází ve staničení km 168,000, ve složeném oblouku s krajními přechodnicemi, bez mezilehlé přechodnice, poloměry kružnicové části jsou $R1 = 378,000$ m; $R2 = 371,000$ m, převýšení $D = 100$ mm. Traťová rychlost je 80 km/h.



Obrázek 9: Lokalita „Babice“, situace, osazení měřicí aparatury, orientace měřicí aparatury

4.2.3. Průběh měření

Měření probíhalo ve dnech 22. 1. 2020 – 30. 1. 2020 v lokalitě „Hády“, a ve dnech 14. 2. 2020 – 24. 2. 2020 v lokalitě „Babice“, časový interval byl zvolen tak, aby obsahoval celý týden, včetně slabšího provozu osobní dopravy v nepracovních dnech.

K měření rychlosti byly použity vždy dva měřiče rychlost kolejových vozidel (dále v textu jen „měřič“) a fotografické záznamové zařízení (dále v textu jen „záznamové zařízení“), obě zařízení byla instalována na sloup trakčního vedení, ve výšce cca 2,0 metru nad TK.

V lokalitě „Hády“ byly měřiče rychlosti umístěny na dvou místech, jeden před tunelem č. 1 a druhý před tunelem č. 2, oba byly otočeny ve směru na Adamov.

V lokalitě „Babice“ byl zvolen odlišný způsob umístění; oba měřiče byly umístěny na jednom místě, byly však otočeny každý jiným směrem – každý zajišťoval měření v jiném místě trati.



Obrázek 10: Umístění měřicí aparatury na sloup TV v lokalitě Babice

4.3. Zpracování naměřených dat

Vstupními daty pro vyhodnocení byly výpis z měřiče a snímky ze záznamového zařízení. Vyhodnocení probíhalo v programu MS Excel. Nejprve proběhlo roztřídění jednotlivých hodnot podle vlaků, hodnotícím kritériem byl shodný časový údaj. U delších vlaků docházelo k jevu, že záznam hodnot byl delší než jedna minuta, to neumožnilo strojové zpracování a bylo nutné provádět třídění ručně. Počet záznamů se lišil podle délky a rychlosti vlaku, zatímco u vlaků osobní přepravy se pohyboval okolo 3 – 5, u nákladních se vyskytovalo i 60 – 80 hodnot.

Takto rozříděné hodnoty byly dále vloženy do nové tabulky a byl z nich vypočten aritmetický průměr pro každý vlak, z výpočtu průměru byly vyloučeny zjevně odlehle hodnoty. Vyloučení bylo provedeno odhadem, bylo přihlédnuto k tomu, že rychlost vlaků nemá normální rozdělení, jako přibližné vodítko sloužil rozdíl 10 km/h v absolutní hodnotě od průměru. Tato metoda byla zvolena i s ohledem na velké množství zpracovávaných dat, i při eventuálním vyloučení hodnoty, která do souboru patřila, nebo opomenutí vyloučení odlehle hodnoty nedošlo k ovlivnění výsledku. Při vylučování hodnot byl třeba brát v úvahu i trend, v některých případech byl rozdíl v hodnotách větší než dané kritérium, ale z trendu bylo zjevné, že se jedná o brzdění, nebo rozjezd. Vyloučeny byly i hodnoty, které převyšovaly hodnotu traťové rychlosti.

Výskyt odlehle hodnot byl značně závislý na místě a směru měření, například v lokalitě „Babice“ bylo měření ve směru do Adamova velmi zatíženo odlehle hodnotami, vyskytovaly se v téměř každém záznamu, zatímco ve směru na Brno se téměř nevyskytovaly. Příčinou této anomálie bylo umístění měřiče rychlosti, resp. úhel vůči ose koleje, u přilehle koleje byl tento úhel velmi ostrý a docházelo k odrazům od bočnice vozidla, u vzdálenější koleje byl svíraný úhel příznivější.

14.02.2020 8:46	49.0 VEH_MED Incoming Dir
14.02.2020 8:46	61.0 VEH_LG Incoming Dir
14.02.2020 8:46	66.0 VEH_MED Incoming Dir
14.02.2020 8:51	53.0 VEH_MED Incoming Dir
14.02.2020 8:51	48.0 VEH_LG Incoming Dir
14.02.2020 9:08	81.0 VEH_MED Incoming Dir
14.02.2020 9:08	79.0 VEH_MED Incoming Dir
14.02.2020 9:08	80.0 VEH_MED Incoming Dir
14.02.2020 9:08	78.0 VEH_MED Incoming Dir
14.02.2020 9:16	25.0 VEH_SM Incoming Dir

Obrázek 11: Výstup z Měřiče rychlosti kolejových vozidel

Další fází bylo přiřazení hnacího vozidla a kategorie vlaku, k čemuž byl využit záznam ze záznamového zařízení, nákrešný jízdní řád a řazení vlaků osobní přepravy. Toto přiřazení bylo podstatné pro určení hmotnosti při výpočtu váženého průměru pro stanovení převýšení a také pro srovnání s druhou metodou, modelování v programu OpenTrack. U osobních vlaků bylo podkladem řazení vlaků, porovnaná se záznamem ze záznamového zařízení, u nákladních vlaků bylo nutné hnací vozidlo odvodit pouze ze záznamů ze záznamového zařízení, u záznamů v nočních hodinách nebylo v drtivé většině případů hnací vozidlo možné určit. Hmotnost nákladních vlaků byla uvažována konstantní 2000 tun u vlaků kategorie Pn a NEx, u vlaků kategorie Mn byla stanovena na 450 tun.

Veškeré vyhodnocování výsledků z přímého měření probíhalo ručně a bylo časově nejnáročnější částí práce. Celkový počet záznamů z měřiče rychlostí byl více než 29 000,

průměrný počet vlaků byl přes 100 v jednom směru během pracovního dne a 70 ve dnech pracovního klidu.

místo měření	Babice nad Svitavou															km	168,800																						
rychlost	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	V ₉	V ₁₀	V ₁₁	V ₁₂	V ₁₃	V ₁₄	V ₁₅	V ₁₆	V ₁₇	V ₁₈	V ₁₉	V ₂₀	V ₂₁	V ₂₂	V ₂₃	V ₂₄	V ₂₅	V ₂₆	V ₂₇	V ₂₈	V ₂₉	V ₃₀	V ₃₁	V _p	kategorie	HV	čas				
14.02.2020 8:51	49	50	50	50	48	51	51	52	56																								50,778			8:51:39			
14.02.2020 9:08	73	80	80	81																													78,500	R	660	9:08:43			
14.02.2020 9:16	50	53	58	68																													57,250	Os	242	9:16:55			
14.02.2020 9:24	71	74	85	69	71	68	71	66	69	64	49	64	68	63	52	64	70	64	64	69	65	68												67,474	Nex	Vectron	9:24:18		
14.02.2020 9:28	80	80	81	64	71	81	82	81																									80,833	rj	1216	9:28:12			
14.02.2020 9:46	51	45	56	61	62																												55,000	Os	362	9:46:01			
14.02.2020 9:57	81	80	73	80	80	81	72	66	81																									78,500	EC	380	9:57:38		
14.02.2020 10:01	67	54	58	67	60	66	67	66	62	66	65	66	65	66	65	60	47	62	65	59	65	63	64	64	62	63	57	63	61	62	63,483	Pn	363	10:01:32					
14.02.2020 10:16	61	70																															65,500	Os	650	10:16:40			
14.02.2020 10:25	81	81	81	70	69	72	81																											76,429	RJ	Vectron	10:25:01		
14.02.2020 10:30	59	57	58	57	56	57	56	55	61	56	57	57	50	56	56	54	54																		56,235	Pn	2*753	10:30:34	
14.02.2020 10:45	55	57	60	63																													58,750	Os	650	10:45:05			
14.02.2020 10:54	61	79																															70,000	Os	814	10:54:57			
14.02.2020 11:08	81	69	80	81																														80,667	R	660	11:08:41		
14.02.2020 11:12	74	72	73	52	73	69	73	65	69	71	69	72	64	68	64	68	68	71	71																	68,737	rj	1216	11:12:46

Obrázek 12: Výsledný výstup z měření „in situ“; zleva: datum a čas záznamu, jednotlivé dílčí rychlosti (odlehle hodnoty označeny červeně), žluté podbarvení každého druhého řádku je pouze pro lepší orientaci, výsledná hodnota rychlosti získaná aritmetickým průměrem, kategorie vlaku, hnací vozidlo

5. Modelování v programu OpenTrack

5.1. Úvod do programu OpenTrack

Druhou metodou bylo modelování v programu OpenTrack. Tento program je primárně určen pro tvorbu nákrešných jízdních řádů a určování kapacity tratě, úkolem bakalářské práce bylo ověřit, zda jej lze s dostatečnou přesností využít pro zjištění rychlost vlaků v daném místě.

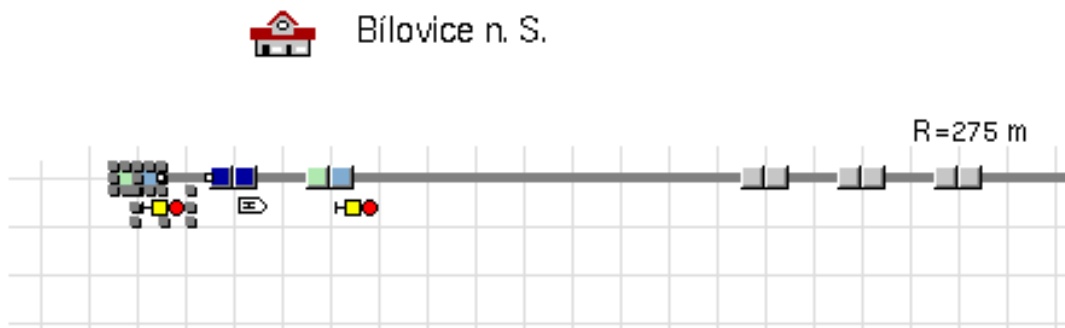
Pokud by program poskytoval relevantní údaje, bylo by jej možné uplatnit nejen k ověřování stávajícího stavu, ale bylo by jej možné jej využít i při rekonstrukcích a novostavbách, například na zjištění délek úseků mezi změnami rychlosti.

5.2. Tvorba polygonu

Principem programu je vytvoření polygonu, na kterém posléze probíhá simulace.

5.2.1. Trať

Nejprve byla vytvořena „Trať“ („Route“), ta se skládá z jednotlivých segmentů – „Dvojbod“ a „Spojnice“, kterým lze přiřazovat vlastnosti, v případě „Dvojvodu“ se jedná o kilometrickou polohu, popřípadě lze příslušný „Dvojbod“ přiřadit k „Stanici“ (viz dále), v případě spojnice lze přiřadit délku (lze vypočítat automaticky z rozdílů kilometrických poloh hraničních „Dvojbodů“), poloměr a sklon, lze zadat vedení v tunelu, směrové a sklonové řešení je zde užito pouze k výpočtu jízdních odporů, nemá zde vliv například orientace oblouku (levý/pravý), ani převýšení, vedení v tunelu nebylo uvažováno, v potaz byla brána délka tunelů (nejdelší ve sledovaném úseku má délku 276 m), i jejich velký příčný profil, jedná se o tunely s jednou dvojkolejnou rourou.

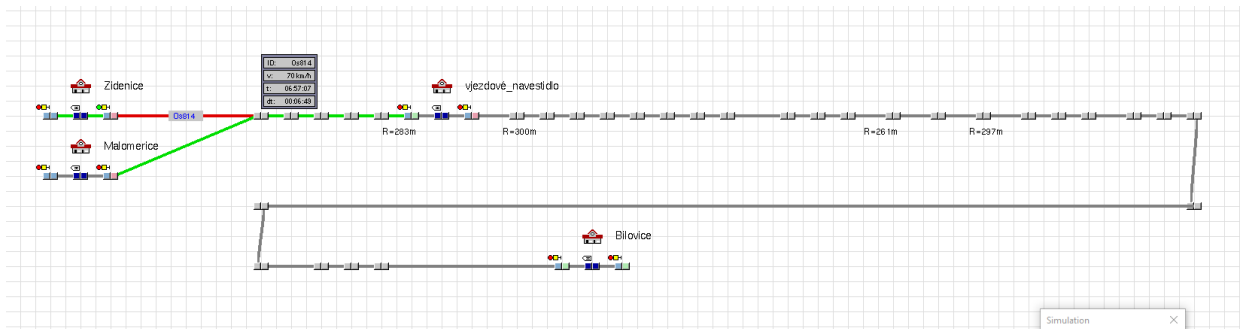


Obrázek 13; Segmenty v programu OpenTrack; zleva: trojice „Dvojbodů“ označující „Stanici“; trojice „Dvojbodů“ vpravo v tomto případě označující začátek přechodnice, střed délky přechodnice, začátek kružnicové části oblouku

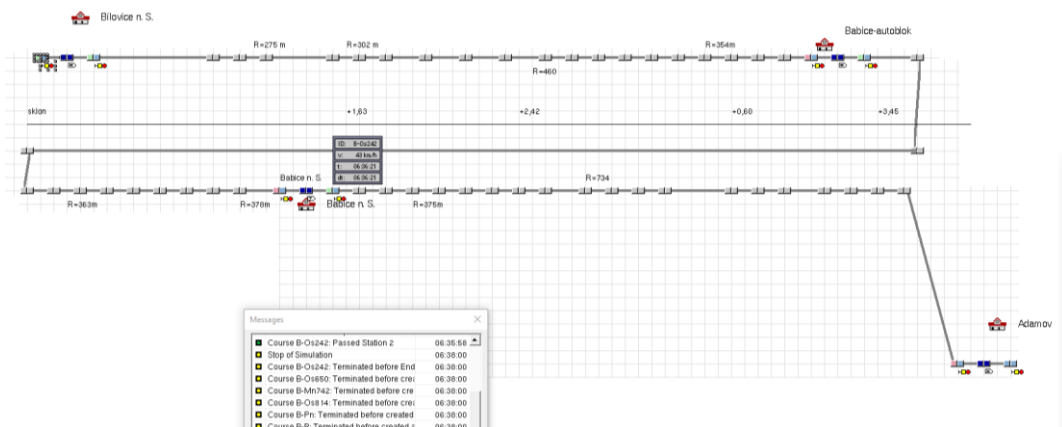
Oblouky s krajními přechodnicemi byly uvažovány jako přímá v úseku od začátku přechodnice do poloviny délky přechodnice, od poloviny délky přechodnice do začátku kružnicové části jako oblouk o poloměru kružnicové části oblouku. Toto zjednodušení bylo možné akceptovat, protože, jak již bylo zmíněno dříve, směrové řešení je využito pouze k výpočtu jízdních odporů, ze stejného důvodu jsou zanedbány zakružovací oblouky při lomech sklonů.

Z takto vytvořených prvků se sestaví „Trať“, „Dvojbod“ je třeba vkládat v každém místě, kde dochází ke změně parametrů, tedy v polovině délky přechodnice, při změně poloměru oblouku u složených oblouků a u lomu sklonu.

Nebyl modelován celý mezistaniční úsek Brno – Adamov, ale pouze úseky přiléhající k místu měření, v případě lokality „Hády“ se jednalo o úsek Brno-Maloměřice/Brno-Židenice – Bílovice nad Svitavou, v případě lokality „Babice“ byl modelován úsek Bílovice nad Svitavou – Adamov, v obou případech byl podrobně modelován úsek o délce přibližně jednoho kilometru na obě strany od místa měření, zbytek úseku byl tvořen „Spojnicí“ s parametry přímé a sklonu odpovídajícím průměrnému sklonu v daném úseku, tyto části byly modelovány z toho důvodu, aby rozjezd z počáteční „Stanice“ (viz dále) neovlivnil rychlost v místě měření.



Obrázek 14; Schéma polygonu v lokalitě „Hády“; vlevo je patrné rozdělení do přímého směru (směr Brno-Židenice) a do odbočky (směr Brno-Maloměřice), v místě rozdělení je umístěn „Měřicí bod“



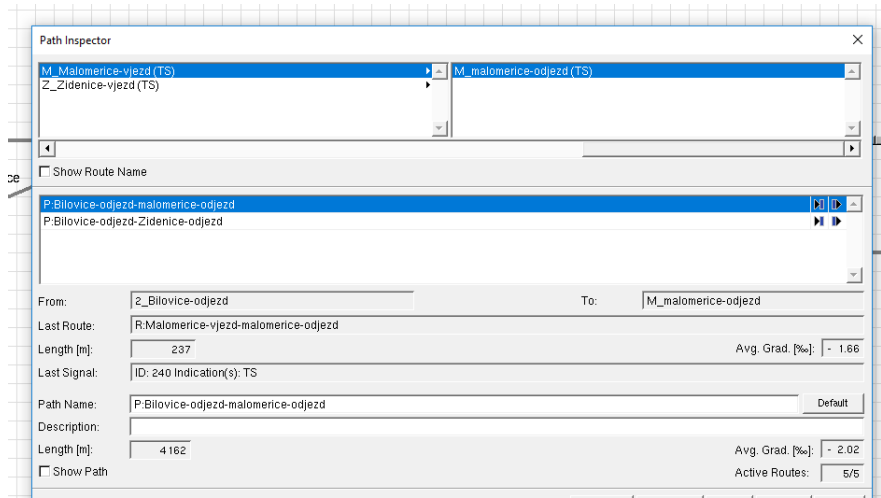
Obrázek 15; Schéma polygonu v lokalitě „Babice“

Do trasy je možné vkládat „Stanice“ („Station“), pro účely modelování jsou jako stanice uvažovány počáteční a koncový bod úseku a dále místa, kde bylo uvažováno zastavení vlaku, v případě lokality „Hády“ to bylo místo vjezdového návěstidla, v případě lokality „Babice“ to byl konec nástupiště zastávky Babice nad Svitavou, kde byl modelován rozjezd osobních vlaků z této zastávky, a dále stanoviště automatického bloku v km 167,954, které bylo zvoleno pro modelování situace, kdy vlak zastaví u tohoto stanoviště, když bude předchozí oddíl obsazen osobním vlakem stojícím v zastávce.

„Stanice“ je tvořena třemi „Dvojbody“, přičemž první plní funkci vjezdového návěstidla, druhý místa zastavení a třetí odjezdového návěstidla. Vzhledem k povaze „Stanice“ při simulaci byla vzdálenost mezi těmito „Dvojbody“ jednotně nastavena na 1 m.

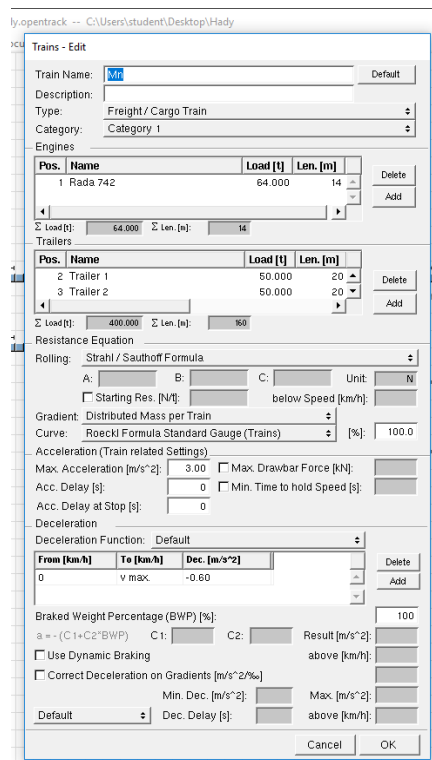
5.3. Simulace

Na takto vytvořené „Trati“ lze modelovat různé „Dopravní cesty“ („Path“), tyto lze nastavit mezi jednotlivými „Stanicemi“.



Obrázek 16: Nastavení „Dopravní cesty“

Následovalo sestavení vlakových souprav, kterými bude prováděna simulace, pro porovnání s měřením „in situ“ byly vybrány reprezentativní vlakové soupravy různých kategorií a s různými hnacími vozidly s co nejvíce odlišnými trakčními charakteristikami, zároveň odpovídajícím provozu v daném úseku, v obou případech se jednalo o tyto soupravy „Os 650“, tvořený elektrickou jednotkou řady 650, „Os 814“ tvořený motorovou jednotkou řady 814.2 (pro účely modelování tvořena jednotkou 814.0 a motorovým vozem 812), „Os 242“ představovaný lokomotivou řady 242 a 4 vozy, „Ex“ tvořený lokomotivou řady 380 a čtyřmi vozy, „Pn“ uvažovaný jako lokomotiva 363 a 30 vozů a „Mn“ tvořený lokomotivou řady 731 a 25 vozy.



Obrázek 17 Nastavení parametrů vlaků

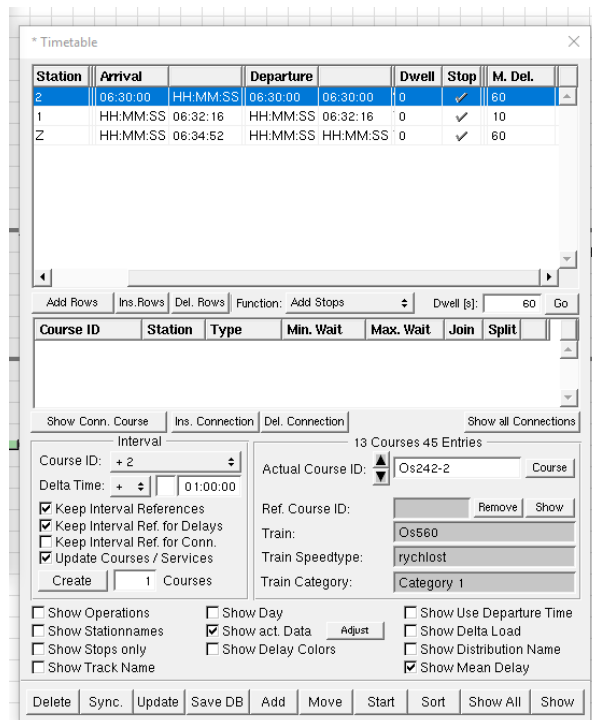
Daná hnací vozidla a jejich trakční charakteristiky byly součástí doplňkové databáze programu, menším nedostatkem je relativně malý rozsah databáze, v níž chyběla některá charakteristická vozidla pro tuto trať (elektrická jednotka řady 560, motorová jednotka 814.2, byť tuto se podařilo nahradit, viz výše), do budoucna lze očekávat problém při provozu nových řad vozidel, která zde nejsou vůbec zahrnuta (elektrická lokomotiva řady 383, nové řady elektrických a motorových jednotek). Vozy byly uvažovány jednotně o hmotnosti 50 tun.

Pro dané vlaky byly vytvořené „Spoje“ („Courses/Services“), v nichž byl zahrnut „Jízdní řád“ („Itinerary“), v němž bylo možné nastavit i zastavení a pobyt „Spoje“ v jednotlivých „Stanicích“, v případě lokality „Hády“ byly simulovány následující stavy:

- „Os 650“; Os 242; Os 814; Ex, rozjezd z Bílovic nad Svitavou, průjezd v přímém směru
- „Pn“ průjezd do odbočky; „Mn“ zastavení u vjezdového návěstidla a rozjezd do odbočky

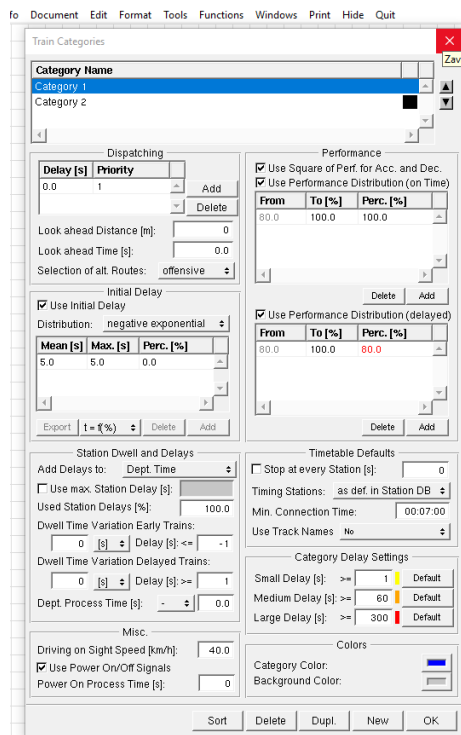
V lokalitě „Babice“ byly simulovány tyto situace:

- „Os 814“; Os 242; Os 650 – zastavení v zastávce, rozjezd
- Ex; Mn – průjezd,



Obrázek 18: Nastavení „Jízdního řádu“

Při nastavení simulace bylo zohledněno, že vlak vždy nejede nejvyšší možnou rychlostí, proto simulace byla v obou případech provedena desetkrát a bylo nastaven rozptyl hodnot rychlostí, horní hranice byla 100 %, spodní hranice 80 %.

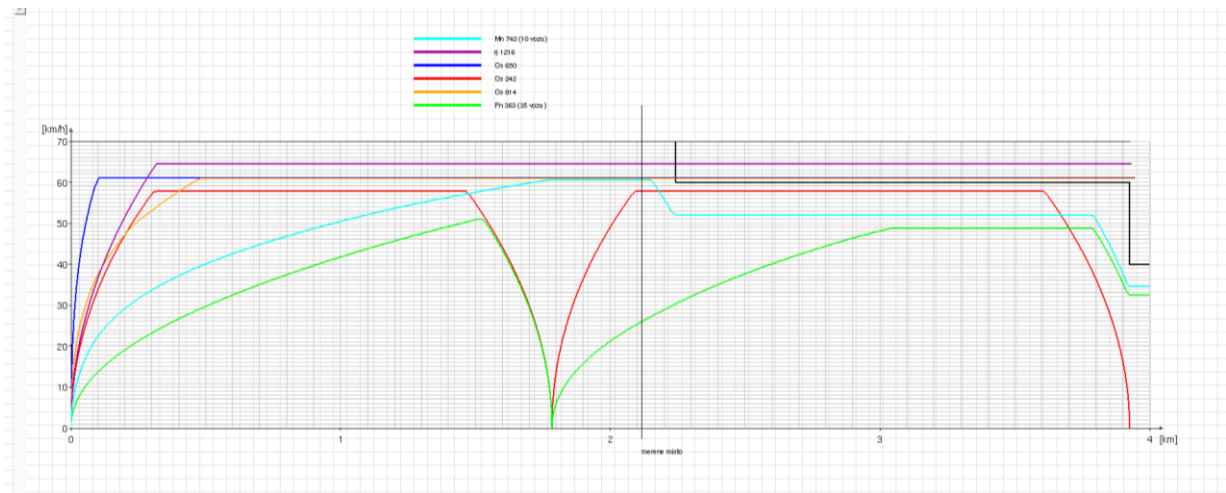


Obrázek 19: Nastavení rozptylu maximální rychlosti

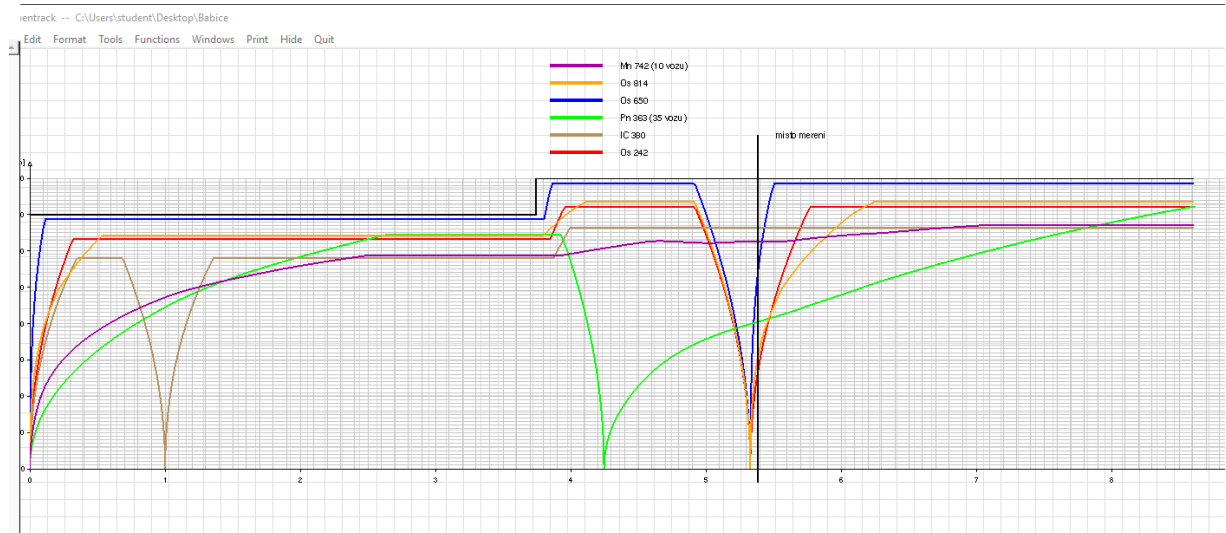
5.4. Vyhodnocení dat

5.4.1. Grafický výstup

Jednou z nevýhod programu OpenTrack je obtížné získání výsledků. Vzhledem k tomu, že program je určen pro jiné využití, umožňuje sice grafický výstup, z něj však nelze odečíst hodnotu rychlosti v daném místě, obzvlášť u zjišťování rychlosti nedlouho po rozjezdu je vzhledem k strmosti křivky zjištění rychlosti odhadem nepřípustné.



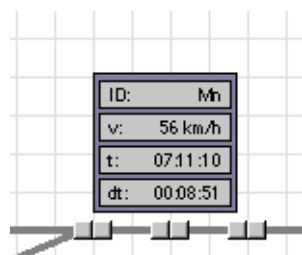
Obrázek 20: Grafický výstup ze simulace v lokalitě „Hády“; zelená a červená křivka označují simulaci vlaků, které zastavily u vjezdového návěstidla; vpravo je patrné snížení traťové rychlosti v odbočné větvi na 60 km/h a na zhlaví třídicího nádraží na 40 km/h



Obrázek 21: Grafický výstup ze simulace v lokalitě „Babice“; oranžová, červená a modrá křivka označují simulaci vlaků, které zastavily v zastávce, zelená křivka označuje vlak, který zastavil u návěstidla autobloku

5.4.2. Měřicí bod

Druhou metodou je použití „Měřícího bodu“. Ten se přiřazuje k danému „Dvojbodů“, lze tak zjistit hodnotu rychlosti v přesně daném místě. Dalším problémem tohoto programu je, že neumožňuje tabulkový výstup hodnot, všechny hodnoty rychlostí musejí být zapisovány ručně, což omezuje počet cyklů simulací a tím snižuje přesnost. Výsledné hodnoty rychlostí shrnují následující tabulky. Pro přesnější určení rychlosti na více místech by bylo nutné použít více měřících „dvojbodů“, ovšem tato metoda by byla velmi pracná.



Obrázek 22; detail „Měřícího bodu“, od shora: kategorie vlaku, rychlost, čas průjezdu

vlak	Os 242	Os 650	Os 814	Pn 363	Mn 742	rj 1216
1	58,0	69,0	68,0	29,0	60,0	64,0
2	66,0	68,0	59,0	32,0	54,0	58,0
3	60,0	66,0	63,0	29,0	61,0	66,0
4	68,0	65,0	68,0	33,0	55,0	59,0
5	62,0	64,0	58,0	30,0	62,0	67,0
6	70,0	63,0	62,0	34,0	56,0	61,0
7	64,0	61,0	67,0	30,0	62,0	68,0
8	58,0	60,0	57,0	34,0	57,0	62,0
9	66,0	59,0	62,0	31,0	36,0	70,0
10	60,0	63,0	66,0	35,0	59,0	63,0
Průměr:	63,2	63,8	63,0	31,7	56,2	63,8

Tabulka 1: Výpis hodnot rychlostí ze simulace v lokalitě „Hády“

vlak	Os 242	Os 650	Os 814	Pn 363	Mn 742	IC 380
1	44,0	72,0	41,0	44,0	70,0	71,0
2	43,0	70,0	43,0	40,0	70,0	80,0
3	46,0	69,0	45,0	44,0	61,0	72,0
4	42,0	68,0	42,0	41,0	62,0	65,0
5	47,0	66,0	43,0	37,0	62,0	74,0
6	41,0	65,0	45,0	42,0	63,0	66,0
7	46,0	76,0	41,0	38,0	64,0	75,0
8	42,0	75,0	42,0	42,0	64,0	68,0
9	45,0	76,0	44,0	39,0	65,0	77,0
10	41,0	75,0	40,0	43,0	66,0	69,0
Průměr:	43,7	71,2	42,6	41,0	64,7	71,7

Tabulka 2: Výpis hodnot rychlostí ze simulace v lokalitě „Babice“

6. Srovnání obou metod

Po zpracování výstupů z obou metod, tedy měření „in situ“ a modelování v programu OpenTrack, následovalo porovnání obou metod.

Pro srovnání výsledků reprezentativní vzorek vlaků, konkrétně osobní vlaky vedené řadou 242; 650 a 814.2, které byly porovnány s výsledky simulace v obou popisovaných lokalitách, konkrétně s „Os 814“, „Os 242“ a „Os 650“, osobní vlaky byly pro porovnání vybrány z toho důvodu, že u nich bylo prokazatelné, že zastavily v zastávce, navíc u nich bylo známé řazení a tudíž hmotnost, u nákladních vlaků nebylo možné doložit, že například nezastavily u návěstidla autobloku, navíc u nich nebyla známá přesná hmotnost, ani počet vozů.

Hády			
HV	242	650	814
Průměr:	64,284	68,664	66,799
OpenTrack:	63,200	63,800	63,000
Rozdíl	1,69%	7,08%	5,69%

Babice			
HV	242	650	814
Průměr:	64,442	61,539	63,392
OpenTrack:	43,700	71,200	42,600
Rozdíl	32,19%	-15,70%	32,80%

Tabulka 3: Porovnání hodnot získaných přímým měřením s hodnotami z programu OpenTrack

Z porovnání reprezentativního vzorku je jasně patrné, že výsledky přímého měření a simulace se diametrálně odlišují, zejména při simulaci v lokalitě „Babice“, v případě vlaku vedeného řadou 242 je rychlost podhodnocena o 32,19 % a v případě motorové jednotky řady 814 o 32,80 %, naopak v případě vlaku vedeného řadou 650 program OpenTrack nadhodnocuje rychlost o 15,70 %.

Možným vysvětlením odchylek by bylo, že program pracuje s ideálními rozjezdovými a brzdovými křivkami, ovšem tato hypotéza by odpovídala v případě, že by hodnoty rychlosti byly pouze podhodnocené, nebo pouze nadhodnocené. Tatáž podmínka by musela být splněna v případě domněnky o příliš velkém rozptylu rychlostí při simulaci, pro všechny modelované případy byl rozptyl nastaven shodně.

Dalším možným vysvětlením jsou individuální návyky strojvedoucích, které nelze postihnout nastavením programu, v tomto ohledu přinese změnu až instalace zabezpečovacího zařízení ETCS L2.

Výsledkem porovnání je tedy závěr, že v současné konfiguraci není možné program OpenTrack použít pro zjištění rychlosti v konkrétním úseku. Možným zlepšením by byla úprava brzdových a rozjezdových křivek podle rychlosti skutečných vlaků a ověření při dalším měření.

7. Ověření nastavení převýšení

Výsledky z přímého měření byly využity pro výpočet doporučené hodnoty převýšení v daném úseku. Takto vypočtená hodnota byla poté porovnána se skutečnými hodnotami.

Pro výpočet průměrné hodnoty rychlosti byl použit vážený průměr, jako vážící kritérium byla zvolena hmotnost vlaků

$$v = \frac{\sum v_p m}{\sum m}$$

Takto vypočtená rychlost byla dosazena do vzorce pro výpočet teoretického převýšení koleje.

$$D_N = \frac{11,8v^2}{R}; v \leq 120 \text{ km/h}$$

Výsledná doporučená převýšení byla porovnána se stávajícími hodnotami převýšení koleje, dále byly dopočítány parametry nedostatku převýšení a porovnány s mezními hodnotami.

směr Brno

rychlosti	v (km/h)	D _{eq} (mm)	D _{stávající} (mm)	I (mm)	I _{lim} (mm)
průměrná	61,105	155,7	123	33	100
osobních vlaků	66,497	184,4	123	62	100
expresních vlaků	67,699	191,1	123	69	100
nákladních vlaků	59,108	145,7	123	23	100
traťová	70,000	204,3	123	82	100
v₁₃₀	75,000	234,5	123	111	130
v_k	80,000	266,9	123	142	270

směr Adamov

rychlosti	v (km/h)	D _{eq} (mm)	D _{stávající} (mm)	I (mm)	I _{lim} (mm)
průměrná	54,924	123,6	120	4	100
osobních vlaků	62,414	159,6	120	40	100
expresních vlaků	64,531	170,6	120	51	100
nákladních vlaků	52,723	113,9	120	0	100
traťová	70	200,8	120	81	100
v₁₃₀	75	230,5	120	110	130
v_k	80	262,2	120	141	270

Babice
směr Brno

rychlosti	v (km/h)	D _{eq} (mm)	D _{stávající} (mm)	l (mm)	l _{lim} (mm)
průměrná	71,185	159,5	140	20	100
osobních vlaků	68,368	147,1	140	8	100
expresních vlaků	76,137	182,4	140	43	100
nákladních vlaků	70,860	158	140	18	100
traťová	80	201,4	140	62	100
v _k	90	254,9	140	114	270

směr Adamov

rychlosti	v (km/h)	D _{eq} (mm)	D _{stávající} (mm)	l (mm)	l _{lim} (mm)
průměrná	68,461	146,3	100	47	100
osobních vlaků	61,695	118,8	100	19	100
expresních vlaků	76,217	181,3	100	82	100
nákladních vlaků	67,640	142,8	100	43	100
traťová	80	199,8	100	100	100
v _k	90	252,9	100	152	270

Tabulka 4: porovnání hodnot převýšení koleje s teoretickým převýšením

Z porovnání hodnot vyplývá, že převýšení v daném místě je nastaveno vhodně. Hodnoty nedostatku převýšení nepřekračují mezní limity.

8. Závěr

V rámci práce bylo provedeno a vyhodnoceno měření rychlosti vlaků na vybraném úseku. Úsek byl volen tak, aby byl silně provozně zatížen a s rozdílnou strukturou provozu. Takto zpracovaná data byla dále analyzována.

V první části bylo popsáno měření rychlosti na zvoleném místě, byl popsán postup a metodika vyhodnocení, výstupy z této části jsou přílohou této práce.

Dále byla ověřena použitelnost modelování rychlosti v daném místě v simulačním programu OpenTrack. Porovnáním reprezentativního vzorku s výsledky z přímého měření bylo zjištěno, že při současném nastavení tento program nelze použít pro optimalizaci návrhu převýšení koleje.

Hodnoty získané z přímého měření byly využity pro výpočet doporučeného převýšení ve sledovaných úsecích. Porovnáním se stávajícími hodnotami převýšení nebyla potvrzena hypotéza o jejich nevhodném nastavení.

9. Použité prameny

1. ČSN 73 6360-1 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha. Část 1 - Projektování. Praha, 2009.
2. Vyhláška č. 177/1995 Sb. Stavební a technický řád drah, v platném znění.
3. Dopravní a návěstní předpis ve znění změn č. 1 až 4, Praha 2013

10. Seznam použitých zkratek

D_{eq} teoretické převýšení (mm)

D_N doporučené převýšení (mm)

E přebytek převýšení (mm)

GPK geometrické parametry koleje

I nedostatek převýšení (mm)

KO konec kružnicové části oblouku

KP konec přechodnice

Lv Lokomotivní vlak

m hmotnost (t)

Mn Manipulační nákladní vlak

NEx Nákladní expresní vlak

Os Osobní vlak

Pn Průběžný nákladní vlak

R Poloměr (m)

Sv Soupravový vlak

TV trakční vedení

v rychlost (km/h)

V rychlost (m/s)

v₁₃₀ rychlost pro vozidla s dovoleným nedostatkem převýšení $l=130$ mm (km/h)

v_k rychlost pro vozidla s naklápěním vozových skříní (km/h)

v_p průměrná rychlost (km/h)

ZO začátek kružnicové části oblouku

ZP začátek přechodnice

11. Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Teoretické převýšení.....	9
Obrázek 4: Rychlostník pro základní traťovou rychlost.....	12
Obrázek 5: Rychlostník pro vozidla s naklápěcími skříněmi.....	12
Obrázek 2: Rychlostník s doplňkovou tabulkou	12
Obrázek 3: Rychlostník pro vozidla s přechodností třídy 3	12
Obrázek 6: Dynamometrický vůz.....	13
Obrázek 7: Poloha měřených bodů	17
Obrázek 8: Lokalita „Hády“, situace a osazení měřicí aparatury.....	17
Obrázek 9: Lokalita „Babice“, situace, osazení měřicí aparatury, orientace měřicí aparatury.....	18
Obrázek 10: Umístění měřicí aparatury na sloup TV v lokalitě Babice.....	19
Obrázek 11: Výstup z Měřiče rychlosti kolejových vozidel.....	20
Obrázek 12: Výsledný výstup z měření „in situ“; zleva: datum a čas záznamu, jednotlivé dílčí rychlosti (odlehle hodnoty označeny červeně), žluté podbarvení každého druhého řádku je pouze pro lepší orientaci, výsledná hodnota rychlosti získaná aritmetickým průměrem, kategorie vlaku, hnací vozidlo	21
Obrázek 13; Segmenty v programu OpenTrack; zleva: trojice „Dvojbodů“ označující „Stanici“; trojice „Dvojbodů“ vpravo v tomto případě označující začátek přechodnice, střed délky přechodnice, začátek kružnicové části oblouku	22
Obrázek 14; Schéma polygonu v lokalitě „Hády“; vlevo je patrné rozdělení do přímého směru (směr Brno-Židenice) a do odbočky (směr Brno-Maloměřice), v místě rozdělení je umístěn „Měřicí bod“ ...	23
Obrázek 15: Schéma polygonu v lokalitě „Babice“	23
Obrázek 16: Nastavení „Dopravní cesty“	24
Obrázek 17 Nastavení parametrů vlaků	25
Obrázek 18: Nastavení „Jízdního řádu“	26
Obrázek 19: Nastavení rozptylu maximální rychlosti	26
Obrázek 20: Grafický výstup ze simulace v lokalitě „Hády“; zelená a červená křivka označují simulaci vlaků, které zastavily u vjezdového návěstidla; vpravo je patrné snížení traťové rychlosti v odbočné větvi na 60 km/h a na zhlaví třídícího nádraží na 40 km/h	27
Obrázek 21: Grafický výstup ze simulace v lokalitě „Babice“; oranžová, červená a modrá křivka označují simulaci vlaků, které zastavily v zastávce, zelená křivka označuje vlak, který zastavil u návěstidla autobloku	27
Obrázek 22; detail „Měřicího bodu“, od shora: kategorie vlaku, rychlost, čas průjezdu.....	28

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Výpis hodnot rychlostí ze simulace v lokalitě „Hády“	28
Tabulka 2: Výpis hodnot rychlostí ze simulace v lokalitě „Babice“	28
Tabulka 3: Porovnání hodnot získaných přímým měřením s hodnotami z programu OpenTrack.....	29
Tabulka 4: porovnání hodnot převýšení koleje s teoretickým převýšením	31

Seznam příloh:

P1: Vyhodnocení přímého měření, lokalita „Hády“, směr Brno

P2: Vyhodnocení přímého měření, lokalita „Hády“, směr Adamov

P3: Vyhodnocení přímého měření, lokalita „Babice“, směr Brno

P4: Vyhodnocení přímého měření, lokalita „Babice“, směr Adamov