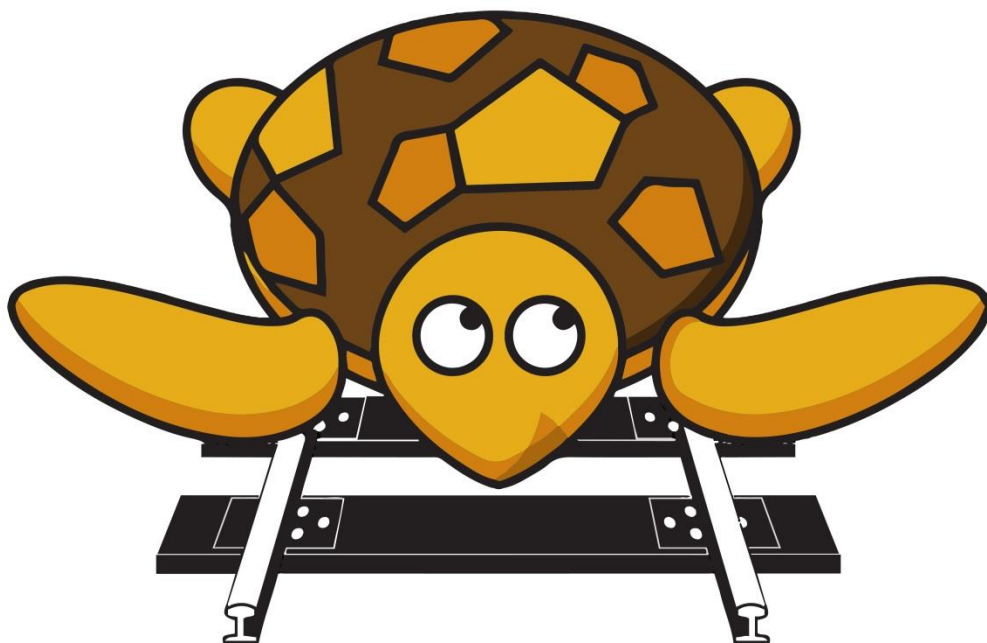


SBORNÍK STUDENTSKÉ VĚDECKÉ KONFERENCE ŽELEZNIČNÍ VÝZKUMNÉ AKTIVITY

2. ročník

16. – 17. ZÁŘÍ 2020
PŘIBYSLAV



ŽELVA 2020



Sborník příspěvků Želva 2020

Studentská vědecká konference
Železniční výzkumné aktivity

2. ročník
16. – 17. Září 2020
Příbryslav

GARANT KONFERENCE / SUPERVISOR

doc. Ing. Martin Lidmila, Ph.D.

EDITOR SBORNÍKU / EDITOR

Ing. Zuzana Mašková

PŘÍPRAVNÝ VÝBOR KONFERENCE / ORGANIZING COMMITTEE

Ing. Zuzana Mašková

Ing. Ondřej Bret

doc. Ing. Martin Lidmila, Ph.D.

POŘADATEL

Katedra železničních staveb, Fakulta stavební ČVUT v Praze

Thákurova 2077/7, Praha 6 – Dejvice, 166 29

mail: <http://kzs.fsv.cvut.cz>

tel. (+420) 224 355 460

Úvodní slovo

Vážení kolegové, milí studenti, přátelé železnic,

těší mě, že si právě pročítáte sborník 2. ročníku studentské vědecké konference nazvané ŽELVA – Železniční výzkumné aktivity, která je pořádána Fakultou stavební ČVUT v Praze, Katedrou železničních staveb.

Po loňské premiéře a jejím pozitivním ohlasu jsme díky podpoře z grantového fondu Studentské vědecké konference ČVUT mohli zorganizovat další ročník této konference. Hlavním těžištěm i nadále zůstává problematika kolejové dopravy, a to napříč různými obory. Zaměření ŽELVY začíná již u prvotního návrhu dopravní infrastruktury a projektování kolejových staveb, pokračuje k jejich realizaci a dotýká se i oblasti údržby a diagnostiky jízdní dráhy. V neposlední řadě se věnuje i charakteru vozového parku a komentuje využití různých dopravních technologií. Konference zahrnuje mnoho témat prezentovaných jak studenty doktorského, ale i magisterského studia, stejně jako příspěvky od zkušenějších odborníků. Věřím, že navážeme tam, kde jsme loni skončili a budeme i nadále prohlubovat mezifakultní a mezioborové vztahy, podporovat vzájemnou spolupráci a usilovat o rozšíření nově nabytých informací pro nové generace železničářů a jejich uplatnění v praxi.

Letos však cítím povinnost veřejně vyjádřit znepokojení nad vývojem prezentace našeho oboru ve společnosti, která ve svém důsledku vede k až brutálnímu poklesu zájmu středoškolských studentů o náš obor. Jedním z možných způsobů, jak se situací aktivně bojovat, je veřejně prezentovat profesní příběhy našich starších kolegů. I proto jsme pro prezentaci našeho oboru letos na konferenci přizvali odborníka s dlouholetou praxí Ing. Vladimíra Dubského se svou přednáškou.

V návaznosti na to navrhuji jako nový cíl pro letošní setkání právě diskuze a rozhovory na téma „Udržení našeho oboru jako samostatné disciplíny v rámci výuky vysokoškolských studentů“. V okamžiku kdy se začnou naše „železniční katedry“ slučovat pod pláštíkem malého počtu studentů a ekonomické nestability, nastanou nevratné škody. Dovolím si citovat bývalého ministra dopravy pana Kremlíka: „S problémy ohledně financování se musejí vysoké školy obracet především na Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, protože Ministerstvo dopravy nemá ve svém rozpočtu žádnou kapitolu na podporu vysokých škol“. Je tedy pouze na nás, jak doporučení pana Kremlíka dokážeme realizovat.

V závěru bych rád poděkoval všem, kteří se podíleli na přípravě tohoto ročníku konference z hlediska jejího prvotního naplánování, zajištění ubytování, kompletace sborníků i přípravu doprovodného programu. V neposlední řadě bych ale rád poděkoval Vám, autorům jednotlivých příspěvků a účastníkům konference. Bez vás by se konference v dané podobě konat nemohla. Doufám, že se ŽELVA dočká dalších úspěchů a stane se místem, kde se budeme pravidelně setkávat a diskutovat různá témata týkající se železničního světa.

doc. Ing. Martin Lidmila, Ph.D.
vedoucí katedry
Katedra železničních staveb
Fakulta stavební ČVUT v Praze

Obsah – seznam příspěvky

Příspěvky jsou ve sborníku řazeny abecedně, podle jména hlavního autora.

Boušková, Z.:		
Vliv železnice na rozvoj průmyslu na Berounsku		8
Dušek, E.:		
Programování kresby příčných řezů železniční trati		18
Javořík, T.:		
Je česká železnice připravena na alternativní pohony?		28
Kruntorád, J.:		
Pěší proudy na nástupištích		38
Křečková, M.:		
Možnosti měření deformace a ojetí tramvajových srdcovek		48
Mašková, Z.:		
Srovnávací měření ručnic měřicích vozíků KRAB - prvotní analýza dat		54
Okřinová, P.; Pilný, O.:		
Bezpečnostní analýza nádražního uzlu		64
Petýrek, M.; Horníček, L.:		
Prvotní výsledky měření Rayleighova vlnění v lokalitě Hrusických blat		74
Pospíšil, J.:		
Projektování vysokorychlostních tratí		86
Purkart, P.:		
Metoda STEM, její aplikace a modifikace v dopravním výzkumu, zejm. v železniční dopravě		94
Valehrach, J.:		
Návrh převýšení koleje v obloucích malých poloměrů s ohledem na rozvoj skluzových vln - pokračování		102

Vodák, D.:

Optimální parametry a trasování železniční dopravní cesty – typizace tratí a jejich úprav 110

Vrchovský, E.; Urda, J.:

Opatrenie koľajníc v konštrukciách koľajových dráh Železníc Slovenskej republiky 118

Vydání tohoto sborníku i konání konference Železniční výzkumné aktivity – ŽELVA 2020 bylo finančně podpořeno grantem Studentské vědecké konference ČVUT v Praze, číslo grantu SVK 11/20/F1.

Za pomoc se sazbou a editací tohoto sborníku děkuji Pavlovi Voříškovi.

Drobné industriální stopy v krajině Českého krasu spojené se železniční dopravou

Ing. arch. Zuzana Boušková

Fakulta stavební ČVUT v Praze

Thákurova 7/2077, 166 29, Praha 6 - Dejvice

e-mail: zuzana.bouskova@fsv.cvut.cz

Abstrakt

Příspěvek se zabývá fenoménem postindustriální krajiny a pozůstatky, které v ní zanechala průmyslová éra. Jeho cílem je pak popsat existenci úzkokolejky a upozornit na potřebu ochrany dochovaných relikvů technického díla. Na příkladu Českého krasu, pro který jsou typické bohaté surovinové zdroje vápence, představuje těžební průmysl s provozem, nutnými k jeho funkčnosti. Dokladuje dále železnici jako nezbytnou a důležitou součást tohoto odvětví, bez jejíž existence by nedošlo k jeho dalšímu rozvoji. Představeny jsou dvě lokality v okolí Berouna, který byl již od středověku centrem průmyslu – Tetín a Hostim, historie těžby vápence na těchto územích a konkrétně seznamuje s industriálními pozůstatky, patrnými v okolní krajině do současnosti.

Klíčová slova

Postindustriální krajina, industriální stopy, průmysl, úzkorozchodná dráha, těžba vápence

Small industrial traces in the landscape of the Český kras area connected with railway transport

Abstract

The article deals with the phenomenon of the post-industrial landscape and the remains left in it by the industrial era. Its aim is to describe the existence of a narrow-gauge railway and draw attention to the need to protect the preserved relics of the technical work. On the example of the Český kras area, which is characterized by rich material sources of limestone, it represents the mining industry with the operations necessary for its functionality. It further documents the railways as a necessary and important part of this sector, without the

existence of which there would be no further development. Two localities are presented in the neighbourhood of Beroun, which has been the center of the industry since the Middle Ages - Tetín and Hostim, the history of limestone mining in these areas and acquaints with the industrial remains visible in the surrounding landscape to the present.

Keywords

Postindustrial landscape, industrial tracks, industry, narrow-gauge railway, limestone mining

1. Úvod

Václav Matoušek ve své knize *Čechy krásné, Čechy mé aneb Proměny krajiny Čech v době industriální* vyslovil hypotézu, že „bezprostřední základy našeho současného světa byly položeny v časovém úseku od 2. poloviny 18. do prvních desetiletí 20. století“. S touto dobou se pojí nejen prudký rozvoj městské společnosti, ale rozvoj průmyslový, jehož spouštědlem byla průmyslová revoluce [1].

Právě průmyslová revoluce se výrazným způsobem podepsala na tváři české krajiny. Byly hledány nové surovinové zdroje tepelné energie, když samotné zásoby dřeva nebyly dostačující. Pro zjednodušení dopravy byla budována železnice. Panoramata sídel byla nenávratně pozměněna továrními komíny či hmotovými dominantami továren. Vrcholy kopců, zalesněné po celá staletí, byly devastovány lomovou těžbou.

V minulých letech intenzivně probíhaly pokusy o smazání industriálních stop, které zbyly po průmyslové éře. Tovární provozy byly strhávány, lomy byly uměle rekultivovány. Na mnoha lokalitách byly ponechány pozůstatky, které jsou laickou veřejností kvůli své vizuální neatraktivitě velmi často odmítány.

Nesmíme však zapomínat, že se stále jedná o obraz historické přeměny naší krajiny. Možný zájem o tuto historii lze probudit pouze identifikací znaků s ní spojených, jejich zdokumentování a pochopení. Pouze z pochopní plyne možná myšlenka uchování těchto stop a jejich akceptování jako součásti naší minulosti.

Příspěvek představuje bezmála století a půl vývoje průmyslu v okolí královského města Beroun od poč. 19. století a způsob, jímž proměnil okolní krajinu. Již od středověku byla výrobní činnost spjata hlavně s městy či vrchnostenskými centry, a právě v Berouně byly již ve 14. století položeny základy průmyslu na celém Podbrdsku [2].

Pro ilustrativní představení industriálních stop byly vybrány dvě ukázkové lokality v okolí Berouna, u nichž bylo zjištěno napojení na Beroun jako místní průmyslové centrum. Obce Tetín a Hostim jsou zástupci oblasti CHKO Český kras, která je díky vyhlášeným zdrojům

vápence známou těžařskou oblastí [2]. Pomocí archivních mapových podkladů a lokální literatury byla provedena analýza vývoje těžby vápence v těchto sídlech či okolní krajině. Na základě této analýzy pak byly identifikovány možné industriální pozůstatky, které byly potvrzeny terénním průzkumem.

2. Historie těžby vápence v Českém krasu

Vývoj malebné krajiny Českého krasu, jejíž většina spadá pod Chráněnou krajinnou oblast s totožným názvem, ležící na pomezí rozsáhlých křivoklátských a brdských lesů s královským městem Berounem, byl silně ovlivněn příchodem průmyslové revoluce. S postupným vylepšováním technologií a nárůstem počtu obyvatelstva sílil tlak na její využívání. Postupně přibývalo lidí, které nemohlo uživit samotné zemědělství, vzrostla i nutnost nalézt jiný způsob „zhodnocení“ okolní krajiny, avšak s lokálními zdroji. Pro území Českého krasu to byly téměř nevyčerpatelné zdroje vápence [3].

Historie výroby vápna a těžba suroviny potřebné pro jeho výrobu sahá v oblasti Českého krasu do středověku [4]. Velká stavební aktivita na tomto území ze stejného období byla dle stavební tradice zásobována hlavně z lokálních zdrojů, což např. v případě Karlštejna, hradu Nižbor či opevnění Berouna znamenalo použití vápence i vápna [5].

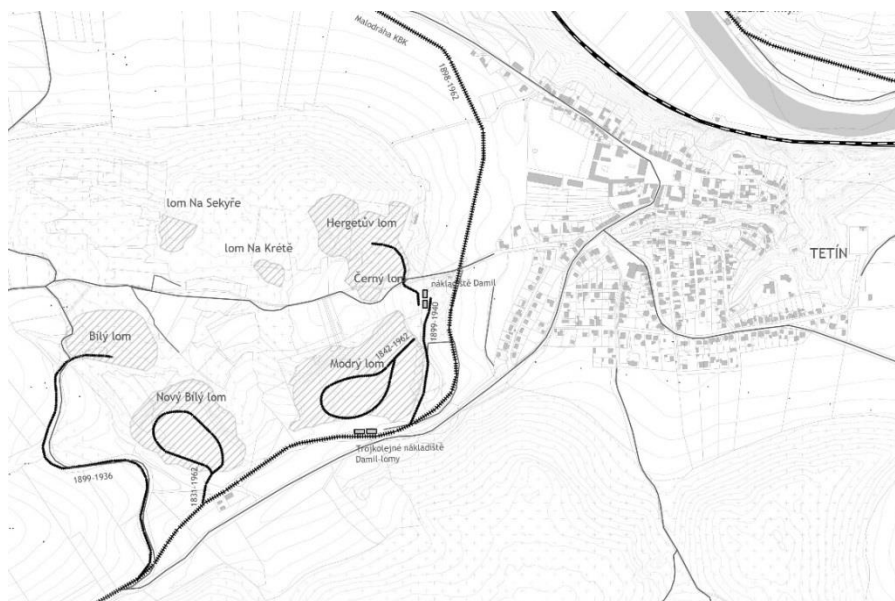
Obrovský rozvoj lomařství probíhal okolo roku 1890. Lomy na šterk a stavební kámen se nacházely téměř u každé vesnice. Rozvíjí se cukrovarnictví, které potřebuje vápenec na saturaci řepy, nastupuje železářství, ve sklářství je mletým vápencem nahrazena dovážená plavená křída [5]. V polovině 19. století zažívá vápenické řemeslo zlom, realizují se první průmyslové výroby vápna. Oblast Berouna, bohatá na tuto surovinu, nezaostává a již v roce 1866 je založena firma Josefa Tomáška jako první Česká továrna na výrobu vápna v Berouně. Další vápenkou byla Akciová společnost pro výrobu vápna v Praze Maxe Hergeta [4]. Tyto aktivity logicky požadovaly větší zdroje suroviny, pražští podnikatelé Max Herget, Jíra a Dubský a další si tedy pro dostatečný přísun vápence začali pronajímat pozemky na Tetíně, Jarově a u Koněprus, kde otvírali na svou dobu velké lomy. Tak začaly na Damilu v krátké době práce v Modrém lomu, Bílém lomu, Černém lomu, Hergetově lomu, Jírově lomu, lomu Na Krétě a lomu Na Sekyře [2].

Až do počátku 20. století kameníci a vápeníci sbírali volné kameny a ručně olamovali skalní výchozy. Dokonce vybírali kameny z řek. Krajina v České republice původně měla nepoměrně větší počet skalek, výchozů, suťovisk, volných kamenů a asi lépe vyvinuta škrapová pole. Selské dobývání tedy obvykle končilo po několika metrech, než byla dosažena rostlá skála (někdy jen 1 až 2 m). Nové lomy byly často otvírány bez rozmyslu, a tak byla spousta z nich pro nekvalitní surovinu brzy

opuštěna. Vápenictví bylo velmi výnosným povoláním a vápeníci patřili mezi nejzámožnější řemeslníky, byli všude žádaní [5].

2.1. Průmysl v Tetíně a jeho doprava

Vápno pálili vápeníci v primitivních mlířích, později však nemohli konkurovat kruhovým a šachtovým pecím, které byly součástí nově založených vápenek. Ve většině případů však nebyl lom a vápenka umístěny u sebe, vznikla tedy potřeba daný materiál přepravovat. Z počátku byl z lomů odvážen do Berouna koňskými povozy místních sedláků a formanů, což byl transport jednak pomalý a jednak nákladný a kapacitně omezený. Proto vznikla myšlenka přesunu dopravy na koleje. Koncesi pro stavbu a provozování železnice získala stavební firma Franz Schön a synové a vznikla jako veřejná pro dopravu vápence z lomů Českého krasu (v Koněprusích a Tetíně) do závodů v Berouně a Králově Dvoře. Byla jedinou veřejnou dráhou s nákladním provozem průmyslového charakteru [6]. Kromě vápence se po této trati sváželo i dřevo, které bylo ve vápenicích používáno k výrobě dřevoplynu [7].



Obr. 1 - Malodráha KBK na území Tetína v okolí vrchu Damil. Boušková, 2020

Do provozu byla místní dráha uvedena v roce 1898, prvotně nesla název Drobná dráha KBK, ten se později změnil na název Malodráha Královův Dvůr-Beroun-Koněprusy (KBK), či lidově Ajska. [4]. V roce 1939 ovládla dráhu získkem většiny akcií Královodvorská cementárna, která usilovala o provozování trati jako soukromé. K přeměně trasy na

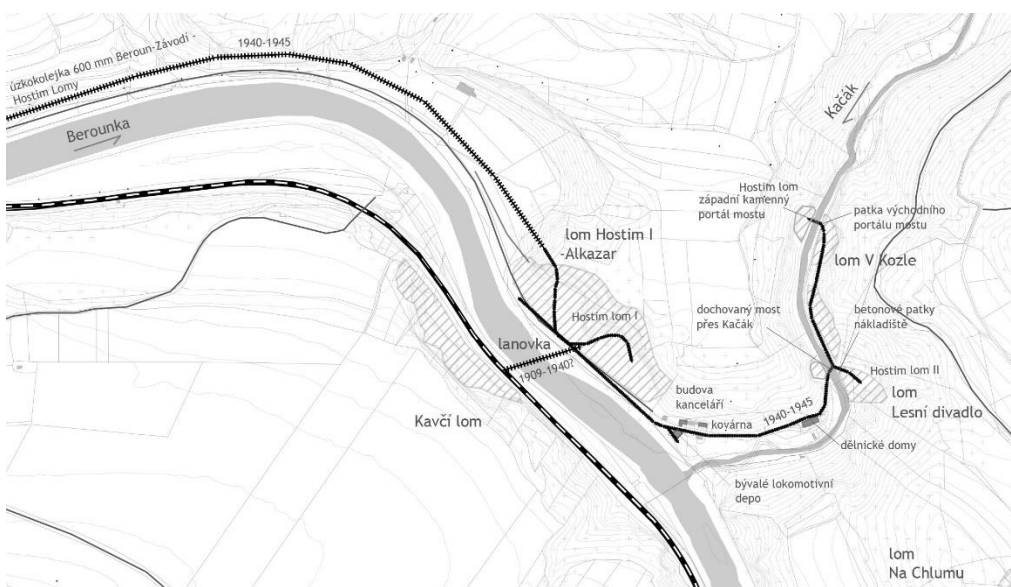
soukromou došlo v roce 1943, právo spoluužívání bylo uděleno pouze třem vápenickým firmám z okolí [7].

Trať, dlouhá 11,354 km, měla rozchod 760 mm, nejmenší poloměr oblouku byl 60 m a největší stoupání 30 promile. Na počátku provozu měla KBK dvě parní lokomotivy s názvy "Tetín" a "Koněprusy", 30 dvounápravových vozů, 12 zaměstnanců a jezdila jen ve dne. V provozu byla vždy pouze jedna lokomotiva, druhá byla záložní. V roce 1939 pak měla 3 lokomotivy (3. lokomotiva nesla název „Damil“), 105 vozů a 43 zaměstnanců [8].

V Berouně byla postavena výtopna, administrativní budova a stanice se třemi kolejemi. Poblíž lomů pak byla zřízena nákladíště a v Berouně zase vlečky do vápenic. V Králově Dvoře se vápenec skládal u kusé koleje na začátku tratě. Poté se nakládal do malých vozíků a jimi se přímo zavážely šachtové pece nebo se vozíky spouštěly svážnou dráhou ke kruhovým pecím. Bezprostředně u seřadovacího nádraží bylo překladiště na státní dráhu [8].

2.2. Průmysl v Hostimi a jeho doprava

Na území Hostimi probíhala podobně jako v sousedním Tetíně těžba vápence, zejména však od počátku 20.století do druhé světové války. Hlavními ohnisky se staly lomy v údolí Kačáku-Hostim II (část dnes nazývaná Divadélko) a lom Alkazar (původně Hostim I) u osady Kozel. Dnes jsou všechny lomy mimo provoz [9].

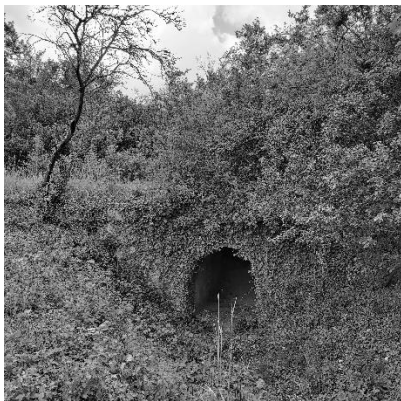


Obr. 2 - Úzkokolejka na území Hostimi. Boušková, 2020

Tyto lomy v okolí Hostimi ležely na druhém břehu Berounky, tedy na „špatné“ straně, kam zprvu nebyla zavedena železnice. Pro potřeby dopravy vápence z lomu Hostim I byla v roce 1909 zřízena malodrážka o rozchodu 650 mm, spojená s protějším břehem lanovkou [6], kde se nacházelo nákladiště, jehož torza nakládací rampy jsou dodnes patrná. Později v roce 1940 byla zřízena úzkokolejka o rozchodu 600 mm, propojující pět lomů podél Kačáku s lomem Alkazar, vedoucí dále do zastávky Beroun-Závodí. Kvůli umístění lomů po obou březích potoka překonávala trasa dva mosty – severní most, který byl zřízený v roce 1940 jen pro potřeby úzkokolejky a jižní most u osady Kozel, jenž byl zbudován již dříve jako místní propojení do Svatého Jana – úzkokolejná trať byla umístěna po jeho levé straně. V roce 1945 byl úsek Beroun-Závodí až Alkazar zrušen a měl být nahrazen normálně-rozchodnou vlečkou vedoucí až do lomu Chlum (o rozchodu 1435 mm), stavba byla zahájena, nebyla však nikdy dokončena [10].

3. Industriální stopy po úzkorozchodných dráhách

Trať KBK měla celkově dvě stanice a devět zastávek s nákladišti. Po trati byly zřízeny tři tunely a tři mosty. Stavební vybavení této úzkokolejky tvořily kromě zmíněné výpravní budovy a výtopy tři vodárny a další drobné objekty, z nichž byla většina odstraněna. U Tetína se do současnosti dochovaly fragmenty tělesa trati – místy až čtyři metry vysoké násypy s kamennými propustky. Dochoval se i jeden tunel – odbočka hlavní trati do tetínského Modrého lomu.



Obr. 3, 4 - Pozůstatky pro malodráže KBK – propustek na trase a ústí tunelu do Modrého lomu u Tetína, Boušková, 2020

Stavební vybavení úzkokolejky v Hostimi sestávalo kromě samotné trati z ředitelské vily a kanceláře, budovy lokomotivního depa a dělnického dvojdomku v osadě V Kozle, technických vybavení v lomech a 2 mostů přes potok Kačák. V současnosti je trasa úzkokolejky téměř

neznatelná, fragmenty tělesa trati se dochovaly pouze severně od lomu Divadélko, kde byla dráha vedena mimo pěší komunikaci. Je lokalizovatelná pouze díky charakteristickému rozestupu lesního porostu. U ústí lomu Alkazar či Divadélko jsou pak identifikovatelné betonové patky základů technologických vybavení – zřejmě nákladíště.

Budova bývalého lokomotivního depa v osadě Kozle je dnes změněna v rodinný dům. Jižní most mezi osadou V Kozle a lomem Divadélko je využíván dodnes, pouze z něj byla odstraněna kolej. Severní most se dochoval fragmentárně, na západním břehu Kačáku se nachází kamenný portál mostu s viditelným datem realizace, na východním břehu lze nalézt pouze poslední zbytky mostního kameniva.



Obr. 5, 6, 7 - Torzo severního můstku přes Kačák s rokem jeho výstavby na římse. Lom Hostim II, pozůstatky technologických zařízení. Boušková, 2020



Obr. 8, 9 - Můstek přes Kačák mezi lomy Hostim I a Hostim II, původní fotografie z doby provozu úzkokolejky, podzemi.solvayovylomy.cz. Aktuální stav, Boušková 2020

4. Závěr

Osudem úzkorozchodných kolejových drah v okolí Tetína a Hostimi byla jejich likvidace. O jejich důležitosti, zejména malodráhy KBK pro rozvoj těžby vápence v Českém krasu však nelze pochybovat. To ona tvořila více než 70 let hlavní dopravní tepnu, spojující lomy v Koněprusích a na Damilu s vápenkami a cementárnou v Berouně a Králově Dvoře. Po válce byla spolu s cementárnou znárodněna, o dopravu vápence se však starala až do roku 1962. Poté, co byl zavřen poslední lom na Damilu (Nový Bílý lom) a byla otevřena „normálněrozchodná“ trať z cementárny do Velkolomu Čertovy schody [2], byla zrušena a její kolejové vybavení rozebráno.

S přihlédnutím k identifikovaným pozůstatkům po těžbě vápence ve zvolených oblastech lze konstatovat, že největší ztráty industriálních stop jsou z kategorie dopravy průmyslového materiálu. Z území byly nenávratně odstraněny úzkokolejné železnice či lanovky, dopravující materiál z vápencových lomů do nedalekých vápenek. Tyto industriální pozůstatky stojí oproti „známějším“ továrním budovám, komínům apod. v pomyslné druhé linii průmyslových objektů. Nebývají totiž vnímány jako jejich nutná součást. Jsou však nedílnou součástí průmyslového dědictví a jejich postupná takřka plošná likvidace by měla být alarmující.

Literatura

- [1] MATOUŠEK, Václav. Čechy krásné, Čechy mé: proměny krajiny Čech v době industriální. Praha: Agentura Krigl. 2010. ISBN 978-80-86912-36-3
- [2] GARKISCH, Miloš, Marie TOŠNEROVÁ, Jiří TOPINKA a Jiří JANKOVEC. Historie a současnost podnikání na Berounsku a Hořovicku. Žehušice: Městské knihy, 2006. Historie a současnost podnikání. ISBN 80-86699-40-4
- [3] ŽÁK, Karel, Martin MAJER a Václav CÍLEK. Český kras: klíč k české krajině : skály, voda a čas. Praha: Academia, 2014. ISBN 978-80-200-2381-0.
- [4] VÁVRA, Jaroslav. Historie těžby vápenců a výroby vápna v okolí dnešního lomu. In V. vápenický seminář 2011. V. odborný seminář Výzkumného ústavu stavebních hmot, a.s. : Beroun, 9.-10.11.2011. Brno: Výzkumný ústav stavebních hmot. ISBN 978-80-87397-08-4
- [5] ZEMAN, Martin. Dopad těžby nerostných surovin na vývoj krajiny v 19. a na počátku 20. století v Čechách [online]. Praha, 2009 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/26732/BPT_X_2007_2_11240_0_245532_0_59260.pdf?sequence=1&isAllo

- wed=y. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Fakulta humanitních studií. Vedoucí práce Václav Matoušek.
- [6] BAUER, Zdeněk. Úzkorozchodné železnice v průmyslu a zemědělství. Praha: Corona, 2003. Knihovna Světa železnice. ISBN 80-86116-22-0.
- [7] HLUŠIČKOVÁ, Hana, ed. Technické památky v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. II. díl, H-O. Praha: Libri, 2002. ISBN 80-7277-044-6.
- [8] MARTINEK, Michal. K.B.K.: malodráha Králův Dvůr - Beroun - Koněprusy 1897-1962. V Nymburce: Kulturní dům železničářů, 1987 Stopou dějin našich tratí.
- [9] KUKLÍK, Karel. Český kras: chráněná krajinná oblast [online]. Praha: ČTK-Pressfoto, 1988 [cit. 2020-05-05]. Má vlast. Řada B. Dostupné z: <http://krameriusndk.nkp.cz/search/handle/uuid:1eb47b90-5758-11e3-ae59-005056827e52>
- [10] Železnice Beroun Závodí-Chlum lomy. Zrušené a zaniklé železnice v ČR [online] 2007. [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <http://zrus-zan-zel.blog.cz/0711/uzkokolejka-alkazar-prekladiste-hostim-lomy>

Programování příčných řezů železniční trati

Ing. Erik Dušek

Fakulta stavební VUT v Brně

Veveří 95, 602 00 Brno

e-mail: erik.dusek@vutbr.cz,

Abstrakt

Programy pro kreslení příčných řezů železniční trati mají za úkol snížit množství repetitivní práce, při níž hrozí vznik zbytečných chyb. Jejich výhodou je možnost opakovaného kreslení příčných řezů a následná optimalizace návrhu trati. Při tvorbě těchto programů je důležité podrobně prozkoumat všechny možnosti, které mohou při kreslení řezů nastat. Zároveň s tím vyvstává řada otázek např., jak řešit některé případy, které v předpisech mají buď nepřesné, nevhodné řešení, nebo se v něm vůbec neřeší.

Klíčová slova

Příčný řez, niveleta, kolejové lože, pláň tělesa železničního spodku.

Programming of the railway track cross-section design

Abstract

The main purpose of the applications for the railway track cross-sections design is to decrease repetitive work which is the main cause of pointless errors. Their advantage is the possibility for repeated design of the cross-sections and the consequent track design optimisation. While creating these applications it is important to closely explore all possibilities that could occur within the cross-section design. Several questions arose simultaneously such as how to solve some cases with inappropriate solution in the regulations or there is no solution at all.

Keywords

Cross-section, track level, ballast bed, sub-ballast surface.

1. Úvod

Podoba příčných řezů železniční trati je ve velké míře určena předpisy pro železniční svršek a spodek a také navazujícími vzorovými listy. Smyslem tohoto systému předpisů a vzorových řešení je snaha

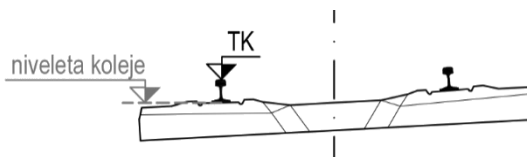
o sjednocení navrhovaných konstrukcí, čímž lze ušetřit nemalé množství finančních prostředků jak při obnově, tak i údržbě. Zároveň se snižuje riziko špatného návrhu a vzniku chyb během výstavby. Současně se však vynakládají větší finanční prostředky i tam, kde to není nezbytné. Dále hrozí, že reálné provedení neodpovídá řešení uvedenému v předpisu, a to z různých důvodů např., že je jeho použití v daném místě nelogické, obecně nevhodné nebo je jeho realizace zbytečně pracná či časově náročná.

2. Přehled řešené problematiky

Při kreslení příčného řezu železniční trati se začíná polohou osy a nivelety na rozdíl od reálné výstavby, kde začínáme od úrovně původního terénu. Osa koleje je přesně daná z vytyčovacího výkresu nebo situace. U nivelety je to složitější, protože existují dvě varianty, které můžeme použít.

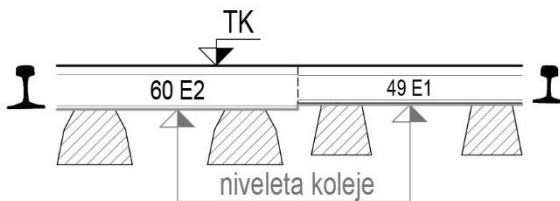
2.1. Niveleta koleje a niveleta temene kolejnice

Niveleta koleje je definovaná jako průsečík osy symetrie nepřevýšeného kolejnicového pásu a horní (úložné) plochy kolejnicové podpory. Niveleta temene kolejnice (TK) se nachází na temeni nepřevýšeného kolejnicového pásu [1].



Obr. 1 - Poloha nivelety koleje a TK v příčném řezu

Niveleta TK má značnou výhodu v tom, že se dá snadno zaměřit u stávající koleje, zatímco k zaměření nivelety koleje by se musely demontovat kolejnice. Niveleta TK je vhodná pro použití při projektování železničních stanic, kde dochází ke změnám v konstrukci železničního svršku. Použití nivelety koleje by vlivem rozdílné výšky kolejnic vyžadovalo návrh výškových skoků v místech přechodových svarů. Výškové skoky se obtížně zadávají do projekčních programů a bývají těžko pochopitelné pro začínající studenty.



Obr. 2 - Výškový skok nivelety koleje v místě změny tvaru kolejnic

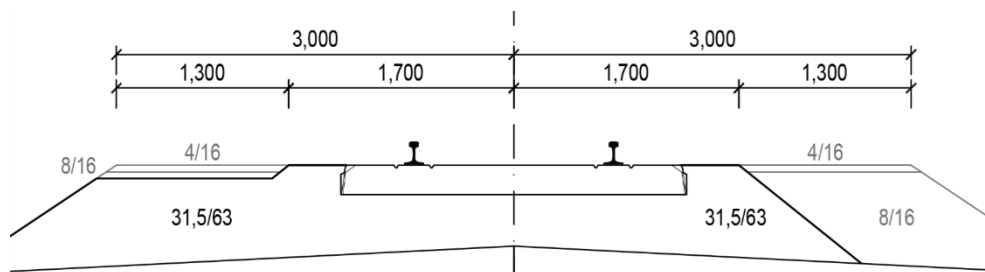
Hlavním důvodem, proč se niveleta TK nepoužívá všude, je fakt, že při návrhu nivelety koleje nemusíme brát v úvahu výšku kolejnic, která se mění vlivem opotřebení provozem. Proto je použití nivelety koleje vhodnější pro návrh mezistaničních úseků. Při projektování přejezdů je lepší použít niveletu TK, protože výškově navazuje na povrch pozemní komunikace.

Používání dvou různých druhů nivelet na rozdíl od silničních staveb zvyšuje množství potenciálních chyb při návrhu a provádění železničních staveb. Není výjimkou, že je v různých částech dokumentace uveden jiný druh nivelety.

Při programování umístění koleje do správné polohy je práce s niveletou koleje znatelně jednodušší než s niveletou TK. Tím, jak se kolej otáčí vlivem zvětšujícího se převýšení, mění se nejvyšší bod na hlavě kolejnice, který definuje niveletu TK. Na druhou stranu není potřeba u jednoho tvaru kolejnice řešit typ pražce. V případě nivelety koleje nezáleží na tvaru kolejnice a bod definující niveletu koleje zůstává při jakémkoliv převýšení na jednom místě.

2.2. Zapuštěné kolejové lože

Zapuštěné kolejové lože se má dle vzorových listů zřizovat přísypem kameniva navazující na otevřené kolejové lože. V horní části přísypu se pak má použít drobnější kamenivo, po kterém se lépe chodí než po hrubozrnném štěrku. Výhodou tohoto řešení je, že na materiál přísypu nejsou kladeny tak přísné požadavky jako na materiál kolejového lože, které musí odolávat zatížení od dopravy a opravám geometrické polohy koleje podbíjením.



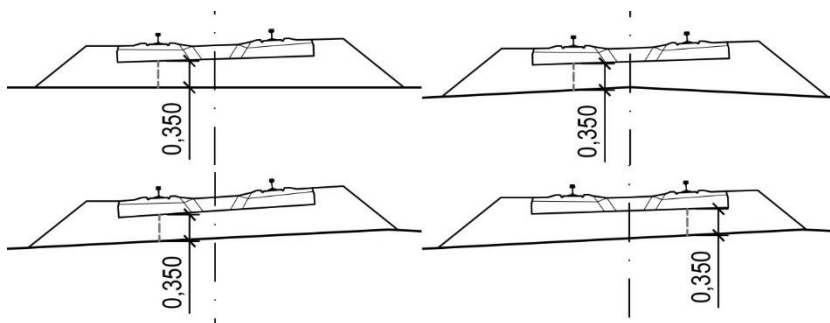
Obr. 3 - Varianty stezek zapuštěného kolejového lože

V praxi se toto řešení ale příliš nepoužívá, protože vyžaduje zavážení jiného druhu kameniva, namísto zřízení zapuštěného kolejového lože najednou v celé šířce. Tato nevýhoda prodlužuje jeho zřizování a vyžaduje přepravu dvou různých druhů kameniva na stejné místo. To znamená, že je toto řešení ve výsledku ekonomicky méně výhodné, než vytvoření přísypů ze stejného materiálu jako je v kolejovém loži a zřízení tenkých vrstev z menších frakcí jako povrchu drážní stezky.

Oproti předpisu se při realizaci zapuštěného kolejového lože vrchní materiál stezky často sype nad úroveň úložné plochy pražců. Dochází k tomu nejspíše z toho důvodu, že není nutné upravovat profil kolejového lože z hrubozrnného kameniva do dvou výškových úrovní. Dalším problémem je fakt, že se kamenivo frakce 4/16, které se používá jako povrch drážní stezky, běžně nevyrábí a musí se vytvořit smícháním dvou frakcí. Mnohdy se stezky ani nedělají, což odpovídá i [2], která připouští, že se stezky nenavrhují tam, kde se nepředpokládá pohyb zaměstnanců. Je k zamyšlení, jestli je do budoucna návrh drážních stezek z jemnějšího materiálu v zapuštěném kolejovém loži vůbec nutný, vzhledem k malé frekvenci jejich využívání drážními zaměstnanci. Ti většinou jen provádí diagnostiku a údržbu výhybek a jinak se ve stanici díky dálkovému řízení provozu zdržovat nebudou.

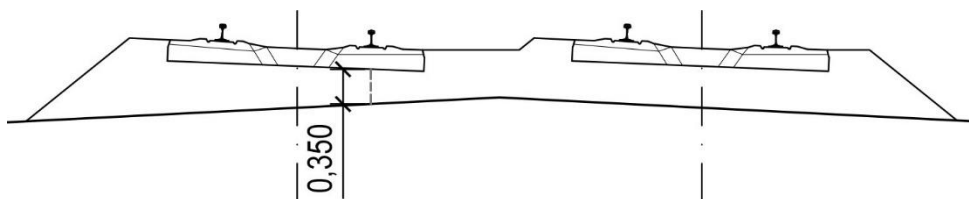
2.3. Poloha pláň tělesa železničního spodku vůči koleji

Jakmile vyřešíme polohu koleje, můžeme se posunout o kousek níž, a to na pláň tělesa železničního spodku (PTŽS), která označuje horní plochu konstrukčních vrstev a rozhraní mezi železničním svrškem a spodkem. Její polohu ovlivňuje konstrukce železničního svršku: tvar kolejnic, typ upevnění, typ pražce a tloušťka kolejového lože. V [2] je pouze uvedené, že se má tloušťka měřit pod nepřevýšeným kolejnicovým pásem, ale není jasné, jak se měří.



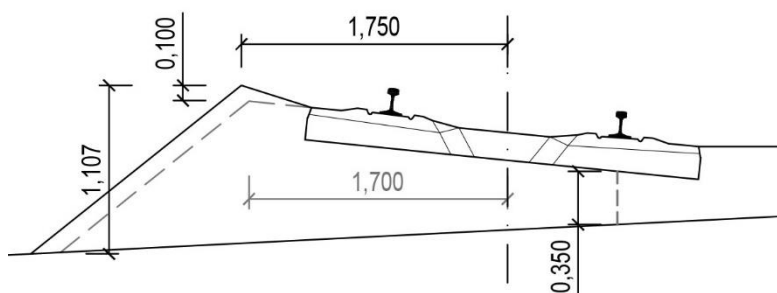
Obr. 4 - Měření tloušťky kolejového lože u jednokolejné trati

Pracujeme-li s vodorovnou nebo střešovitou PTŽS měříme tloušťku kolejového lože vždy pod nepřevýšením kolejnicovým pásem [2], [3]. Pakliže navrhujeme v současnosti preferovanou jednostranně skloněnou PTŽS, musíme brát v úvahu i vzájemný sklon PTŽS a převýšení koleje. Je-li smysl převýšení a sklonu PTŽS opačný, měří se tloušťka kolejového lože pod nepřevýšením kolejnicovým pásem [3]. Pokud je převýšení stejného smyslu jako sklon PTŽS, musí být tloušťka kolejového lože pod pražcem dodržena pod oběma kolejnicovými pásy [3]. Postup je tedy poměrně logický, ale rozhodně ne triviální. Aktuálně platný [2] však s měřením tloušťky kolejového lože pod převýšením kolejnicovým pásem nepočítá.



Obr. 5 - Měření tloušťky kolejového lože u dvoukolejné trati

V případě, že navrhujeme více než jednu kolej, postupuje se různě. U dvoukolejných tratí se standardně preferuje udržovat stejnou výškovou polohu PTŽS pod oběma kolejemi, přestože v oblouku s převýšením vychází v každé koleji jiná tloušťka kolejového lože. U kolejí s velkým převýšením a skloněnou PTŽS může také vzniknout problém s výškou krajního svahu kolejového lože na vnější straně oblouku (viz Obr. 6), která je omezená předpisy na 0,9 m [2], [3]. Pokud je v oblouku navíc navrženo rozšíření nebo nadvýšení kolejového lože, nelze tento požadavek u skloněné PTŽS bez výrazného zásahu do konstrukce spodku vnější koleje dodržet.

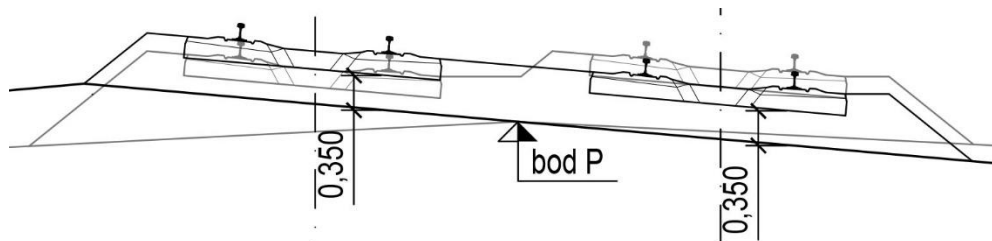


Obr. 6 - Kolejové lože při opačném smyslu PTŽS a převýšení koleje

V železničních stanicích se připouští navrhnout PTŽS v různých výškách v jednotlivých kolejích. Výškovou polohu PTŽS ovlivňuje ve stanicích také umístění trativodů mezi kolejemi, které vyžaduje návrh výškových skoků a změn ve výšce nebo smyslu sklonu PTŽS po délce

koleje s tím, jak se koleje větví a trativody se přesouvají na jednu či druhou stranu koleje.

Požadavek na shodnou výšku PTŽS u dvoukolejné trati v oblouku s větším převýšením vede na plýtvání kamenivem pro kolejové lože v obou kolejích. Řešením tohoto problému může být návrh rozdílných výšek nivelet kolejí tak, že sklon PTŽS kopíruje sklon převýšených kolejí a tvoří souvislou plochu v celé šířce tělesa (na Obr. 9 černě). Vnitřní kolej musí na délce přečhodnic klesnout, zatímco vnější kolej musí stoupnout a změnit smysl sklonu PTŽS.

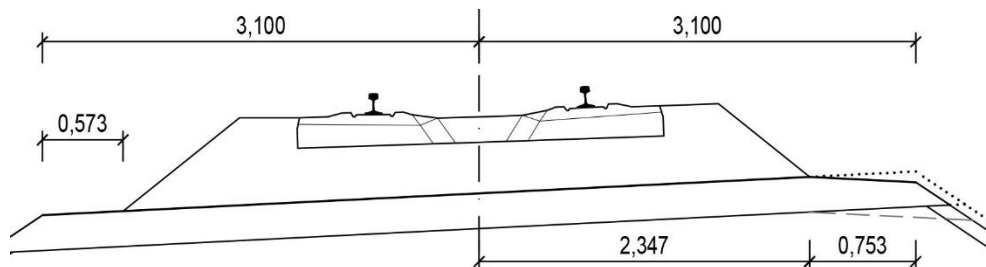


Obr. 9 - Dvoukolejná trať v oblouku s velkým převýšením

Toto řešení se běžně používá u vysokorychlostních tratí, kde se PTŽS projektuje nezávisle na niveletě koleje pomocí tzv. bodu „P“, který se nachází v ose os kolejí. Poloha nivelet obou kolejí se poté dopočítá podle vzorce a v hlavních bodech směrového oblouku je nutné navrhnout lomy sklonu. Nutno podotknout, že toto řešení má vliv i na podélný sklon odvodnění, jehož výška se v zářezu odvozuje od hran PTŽS a zemní pláň.

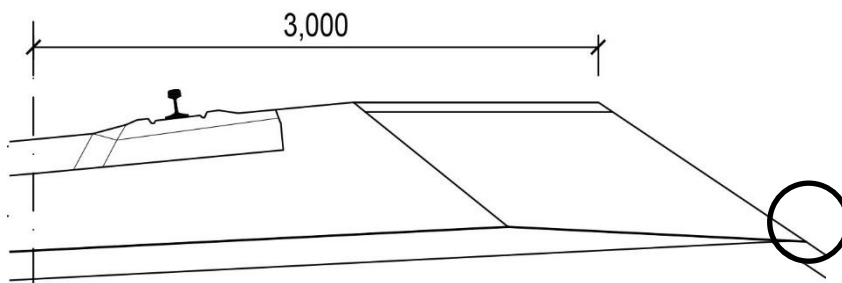
2.4. Tvar skloněné PTŽS

Jednostranně skloněná pláň se dle platných vzorových listů má na horní straně „seříznout“ opačným sklonem tak, aby voda mohla stékat po drážní stezce směrem pryč od koleje a netekla skrz kolejové lože do koleje. Vrchol PTŽS se má nacházet přesně pod spodní hranou svahu kolejového lože. Tento požadavek vyvolává řadu problémů. Šířka opačně skloněné části pláně se po délce koleje mění s tím, jak se vlivem převýšení rozsypává kolejové lože různě daleko od osy. To je při provádění PTŽS značně nepraktické a v reálu to nejspíše většinou vede k tomu, že se vrchol pláně nachází uvnitř kolejového lože. Jako lepší řešení se jeví navrhovat konstantní hodnotu vzdálenosti vrcholu od osy koleje.



Obr. 7 - Opačný sklon drážní stezky u jednokolejné trati

V současnosti není úplně jasné, jestli má být zemní pláň pod konstrukčními vrstvami skloněná stejně jako PTŽS nebo jestli má být zemní pláň v celé šířce v jednom sklonu. První varianta je logicky pracnější, a přitom vzhledem k malému množství vody, které by stékalo po zemní pláni mimo kolej, nepřináší příliš velký užitek. U druhé varianty se při malé tloušťce konstrukční vrstvy může stát, že se PTŽS a zemní pláň protnou a bylo by tak nutné „seříznout“ i zemní těleso (na Obr. 8 vpravo). „Seříznutí“ konstrukční vrstvy pod drážní stezkou s opačným sklonem PTŽS může být v rozporu s minimální tloušťkou konstrukční vrstvy dle [4]. Ta ale zároveň připouští u jednostranného sklonu PTŽS konstrukční vrstvu ukončit u okraje otevřeného kolejového lože.



Obr. 8 - Průsečík PTŽS a zemní pláně u zapuštěného kolejového lože

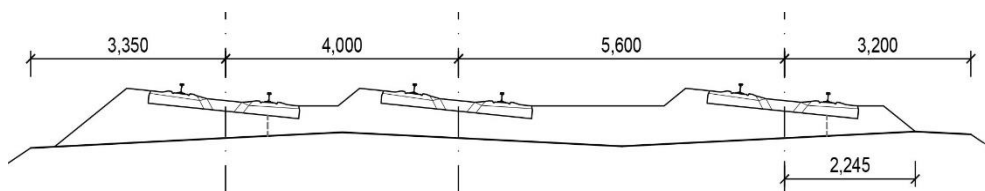
Pokud je u koleje navržené zapuštěné kolejové lože s drážními stezkami ve výšce úložné plochy pražce není úplně jasné, kde by se měl vrchol pláně nacházet, nebo zda by se měl opačný sklon vůbec navrhovat.

Možnost návrhu vodorovné, střečovité a dvou druhů jednostranné PTŽS (bez seříznutí a s ním) značně komplikuje kód pro vykreslování příčných řezů, o grafickém uživatelském rozhraní ani nemluvě. Situaci trochu zlepšuje fakt, že se vodorovná pláň už běžně nenavrhuje.

Střečovitý tvar PTŽS je logicky použitelný pouze pro jednokolejné tratě. Jeho výhodou je, že se nejvíce podobá vodorovné PTŽS. Nevýhodou je, že se špatně zřizuje vlivem malé šířky obou polovin PTŽS v jednom

sklonu, na které se sotva vejde mechanizace pro zřízení železničního spodku.

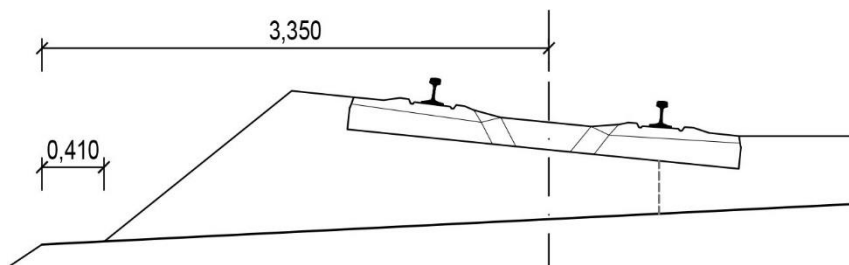
Pro nové jednokolejné a stávající i nové vícekolejné tratě je vhodný jednostranný sklon PTŽS pod jednou kolejí. Návrh takových řezů komplikuje jen „seříznutí“ drážní stezky, které se provádí pouze u krajních kolejí se sklonem PTŽS směrem dovnitř tělesa (na Obr. 10 vpravo). To opět zvyšuje složitost kódu pro vykreslování.



Obr. 10 - Tvar PTŽS u vícekolejných tratí

2.5. Šířka skloněné PTŽS

Se zavedením skloněné PTŽS vznikl i další problém, a to s její šířkou od osy koleje. Minimální hodnota je trochu větší než u vodorovné pláň, aby byla zachována podobná šířka drážní stezky a taky, aby nebylo nutné zbytečně měnit šířku stávajícího drážního tělesa. U vícekolejných tratí se požaduje větší šířka PTŽS od osy koleje, ale přitom pro to není žádný zjevný důvod, protože na nich není běžně ani vyšší rychlost, ani se zde nepředpokládá větší pohyb drážních zaměstnanců.



Obr. 9 - Rozšíření PTŽS na vnější straně oblouku s převýšením

U převýšené koleje je na vnější straně oblouku nutné pláň rozšířit v případě, že je šířka drážní stezky menší než minimální požadovaná hodnota 0,4 m (dle platné [4]). V případě jednostranného sklonu PTŽS u jednokolejné trati vychází většinou jedna drážní stezka výrazně širší, než je třeba (na Obr. 7 vpravo). Je proto otázkou, jestli by nestálo za to připustit různé šířky od osy koleje na každé straně koleje. To by na druhou stranu zase přineslo problémy s tvorbou náběhů různé šířky PTŽS na každé straně koleje.

Šířka PTŽS se navrhuje úplně jinak u zapuštěného kolejového lože, kdy má svah kolejového lože tvořit souvislou linii se svahem zemního tělesa, jak je vidět na Obr. 8. Šířka pláně od osy koleje se tedy odvodí jako průsečík PTŽS a svahu kolejového lože. Zapuštěné kolejové lože má menší sklon než otevřené, pravděpodobně kvůli použití jiné frakce kameniva s menším úhlem vnitřního tření. V praxi ale stejně mnohdy dochází k sypání kolejového lože na svahy zemního tělesa a také k následnému zanášení odvodnění.

Zjištění správné šířky PTŽS od osy koleje je programátorsky poměrně náročné, protože je nutné nejdříve zjistit tvar kolejového lože a polohu PTŽS. Poté se teprve mohou zkontrolovat šířky drážních stezek nebo se může nastavit šířka PTŽS podle průsečíků se zapuštěným kolejovým ložem.

Kód pro vykreslení lze zjednodušit rozdělením příčného řezu na části, se kterými se pracuje převážně samostatně a řeší se pouze některé návaznosti mezi kolejemi, jako je tvar svahů kolejového lože, šířka PTŽS, poloha trativodů atd. Stejně tak lze pracovat s jednotlivými kolejemi. Tím se program zjednoduší a dokáže pracovat teoreticky s nekonečným množstvím kolejí. Prakticky počet kolejí omezuje množství nakreslených objektů v modelovém prostoru, který úměrně zvyšuje výpočetní náročnost a tím prodlužuje práci s příčným řezem.

3. Závěr

Výše popsaná problematika napovídá, jak složité může být kreslení příčných řezů železniční trati. To klade vysoké nároky nejen na softwarové vybavení, ale hlavně také na projektanta, který s ním pracuje. Sebelepší nástroj zatím neumožňuje nakreslit ideální příčný řez za každých okolností a splňující všechny požadavky. Naopak existuje řada problémů spojených převážně se vhodným zavedením skloněné PTŽS. Tyto problémy je žádoucí prodiskutovat a nalézt akceptovatelné řešení.

Při programování narazil autor na řadu problematických míst v předpisech a vzorových listech, jejichž řešení vyžaduje hlubší zamyšlení a časem také nejspíš úpravu dotčených pasáží. Palčivým problémem je nesoulad mezi předpisy, návrhy projektantů a reálným provedením na stavbách, který může vést k používání nevhodných řešení ze vzorových listů, ale i na špatná řešení v projektu či na stavbě.

Smyslem programů pro vykreslování příčných řezů by mělo být snížení množství práce s kreslením velkého množství vzájemně si podobných výkresů. Zároveň je vhodné některé části příčného řezu svěřit raději počítači, který je schopen je vykreslit velmi rychle a pokaždé stejně, zatímco člověku by jejich kreslení zabralo velké množství času a pravděpodobně by v nich udělal řadu chyb. Další výhodou softwarového řešení je možnost opakovaného vykreslení příčných řezů, které je velmi

vhodné pro optimalizaci návrhu. Ať už jde o snížení množství zemních prací nebo o zkoušení různých druhů konstrukce pražcového podloží a odvodnění.

Literatura

- [1] ČSN 73 6360-1. *Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha - Část 1: Projektování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- [2] SŽDC S3. *Železniční svršek*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2008.
- [3] Ž 1. *Železniční spodek. Vzorový list železničního spodku*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2002.
- [4] SŽDC S4. *Železniční spodek*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2008.

Je česká železnice připravena na alternativní pohony?

Ing. Tomáš Javořík, Ph.D.¹, doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D.²,
Ing. Martin Jacura, Ph.D.³

*ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů
Konviktská 20, Praha 1, 110 00*

e-mail_1: javorik@fd.cvut.cz,

e-mail_2: tyfa@fd.cvut.cz,

e-mail_3: jacura@fd.cvut.cz

Abstrakt

Článek podává přehled o možnostech využití některých alternativních pohonů železničních vozidel především v regionální železniční dopravě, přičemž se zaměřuje na perspektivní elektrickou trakci ve formě dvouzdrojových vozidel a vozidel s palivovým článkem. Shrnuje i další infrastrukturní podmínky a požadavky objednatelů regionální železniční dopravy pro provoz nejen takových vozidel.

Klíčová slova

železniční doprava, bezemisní doprava, alternativní pohon, trakce, akumulátor, dvouzdrojové vozidlo, vodík, regionální doprava

Is the Czech Railway Ready for Alternative Drives?

Abstract

The paper discusses the possibilities of using alternative drives in railway transport, especially in regional railway transport. It focuses on promising electric traction in the form of two-source vehicles and vehicles with a fuel cell. It also summarizes other infrastructure conditions and requirements of regional railway transport for two-source vehicles operation.

Keywords

railway transport, emission-free transport, alternative propulsion, traction, accumulator, two - source vehicle, hydrogen, regional transport

1. Úvod

Moderní doprava z hlediska pohonů dopravních prostředků směřuje ke snížení spotřeby energie, produkce oxidu uhličitého coby tzv. skleníkového plynu a emisí škodlivých látek včetně lokálních exhalací, přičemž snížení spotřeby energie vede dále ke snížení provozních nákladů a globálních exhalací z neobnovitelných zdrojů energie. Zároveň je nezbytné, aby primární energie použitá k přeměně na energii spotřebovanou k pohybu dopravních prostředků pocházela v co největším podílu z obnovitelných zdrojů. Důležité je rovněž hledisko strategické bezpečnosti, tedy aby zdroje energie pocházely z více zdrojů/lokalit v politicky a bezpečnostně stabilních regionech a jejich přeprava/přenos k místě spotřeby nezpůsobovaly velké energetické ztráty.

Změny, k nimž v současnosti v ČR dochází na železnici (fyzické nebo morální zastarávání stávajících hnacích i tažených vozidel, nedostatečná kapacita některých tratí i vlaků, soutěže na zajištění dopravní obslužnosti, modernizace infrastruktury nabízející např. vyšší traťové rychlosti, přechod na zabezpečovací systém ETCS aj.) i mimo ni (zvyšující se požadavek občanů na ochranu životního prostředí a zároveň kulturu cestování, koncepce tzv. Green Deal na úrovni EU a s tím související dotační možnosti...), poskytují příležitosti, které je vhodné využít k naplnění výše uvedeným požadavkům.

2. Využití elektrického pohonu místo spalovacího motoru

Nástrojem k intramodálním úsporám konečné spotřeby energie v dopravě je náhrada spalovacího motoru (směrná hodnota účinnosti 30 %) elektrickou vzbou (směrná hodnota výsledné účinnosti trakčního pohonu vozidla i pevných trakčních zařízení 75 %¹). V důsledku 2,5násobně vyšší účinnosti klesá při náhradě spalovacího motoru elektrickým konečná spotřeba energie na 40 %, dochází tedy k úspoře 60 % konečné spotřeby energie. Tato základní úspora je dále navyšována o úsporu energie při rekuperačním brzdění, která se pohybuje v závislosti na charakteru jízdy přibližně od 10 % (plynulá jízda) do 40 % (jízda proměnlivou rychlostí, s četnými zastávkami).

¹ Vlastní trakční elektromotor má vysokou účinnost (kolem 95 %), avšak výše uvedená směrná hodnota střední účinnosti trakčního pohonu 75 % zahrnuje kromě trakčního motoru i mechanické převody, polovodičové měniče, pomocná zařízení a přenos elektrické energie mezi distribuční elektrickou sítí a vozidlem přes pevná trakční zařízení.

2.1. Současné možnosti elektrické trakce

Pojem elektrická trakce označuje dopravní prostředky s elektrickým pohonem. Přenos elektrické energie mezi distribuční elektrickou sítí a vozidlem může mít více podob a podle něho se také elektrická trakce rozděluje do tří základních skupin:

- **závislá elektrická trakce:** vozidlo nemá ani zdroj, ani zásobník elektrické energie a vyžaduje liniové elektrické napájení (pevná trakční zařízení) – elektrická vozba;
- **polozávislá elektrická trakce:** vozidlo má zásobník energie a k provozu potřebuje možnost nabíjení – buď statické při stání, nebo dynamické v průběhu jízdy;
- **nezávislá elektrická trakce:** vozidlo má zdroj energie se zásobou paliva – v minulosti spalovací motor s generátorem, v současnosti palivový článek se zásobou paliva, jehož přeměnou na elektrickou energii nevznikají žádné lokální emise skleníkových plynů ani zdraví škodlivých látek.

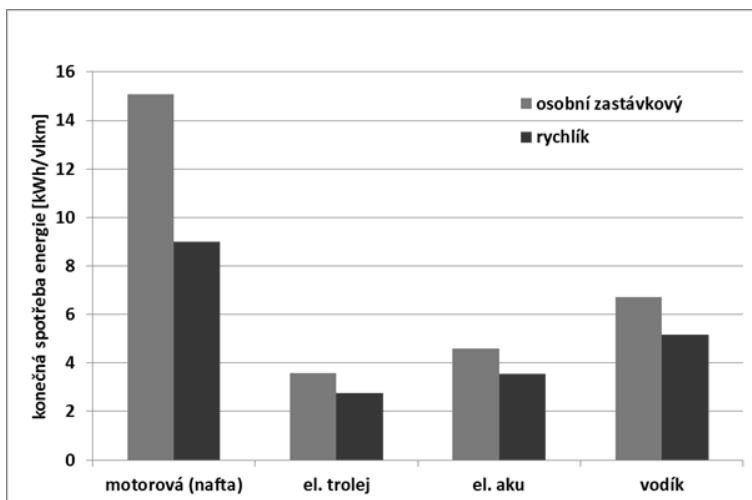
Tyto systémy lze kombinovat, a tím vytvářet vícezdrojová vozidla. Rozvoj polozávislé elektrické trakce, který nastal v posledních letech, přímo souvisí s pokrokem v oblasti elektrochemických akumulátorů, zejména lithiových.

Při snaze snížit konečnou spotřebu energie v dopravě je podstatné vnímat rozdílnou výslednou vstupní účinnost různých druhů elektrické trakce (přenosu elektrické energie):

- závislá elektrická trakce na stejnosměrné elektrické trakční soustavě: cca 80 % (stejnosměrné trakční napájecí stanice – měničky, trakční vedení, vstupní filtr vozidla),
- závislá elektrická trakce na střídavé elektrické trakční soustavě: cca 95 % (střídavé trakční napájecí stanice – transformovny, trakční vedení, transformátor vozidla, vstupní měnič vozidla),
- polozávislá elektrická trakce (dvouzdrojová vozidla): cca 80 % (nabíjecí měnič s účinností cca 90 % a akumulátor s účinností cca 90 %),
- nezávislá vodíková elektrická trakce: v rozmezí elektřina – elektřina cca 40 % (elektrolyzér s účinností cca 60 % a vodíkový palivový článek s účinností cca 65 %)².

Na grafu (obr.1) je uvedeno rámcové porovnání energetické náročnosti různých způsobů elektrické trakce na železnici a jejich srovnání s motorovou (dieselovou) vozbou.

² Vlivem spotřeby energie na stačování vodíku a spotřeby energie na dopravu stlačeného vodíku v těžkých nádobách může výsledná účinnost přenosu elektrické energie z distribuční energetické sítě na vozidlo dále poklesnout až k hodnotě 30 %.

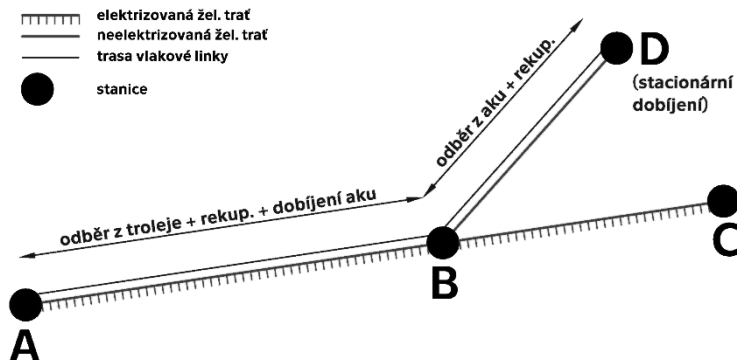


Obr. 1- Graf průměrné spotřeby energie pro dvě kategorie vlaků osobní dopravy pro různé trakce (el. aku = polozávislá elektrická trakce s akumulátory)

Zdroj: [6, s. 55]

2.2. Dvouzdrojová vozidla a elektrizace tratí

Veřejná železniční síť v ČR je v současnosti charakteristická nízkým podílem elektrizovaných tratí (cca 34 %) a dvěma hlavními trakčními soustavami (stejnoseměrnou 3 kV a střídavou 25 kV/50 Hz) s přibližně vyrovnanou celkovou délkou tratí. Další liniová elektrizace výrazně zvyšuje nejen podíl tradiční závislé elektrické vozby, ale i potenciál použití dvouzdrojových vozidel. Snižuje se totiž délka úseků bez elektrizace a spolu s tím klesá potřebný dojezd vozidel při napájení z akumulátoru, a tím i jejich velikost a hmotnost, respektive zvyšuje se počet železničních tratí a stanic, kde lze za jízdy i při stání nabíjet akumulátory. Centrální komise Ministerstva dopravy ČR již schválila elektrizaci zhruba 560 km tratí a studie proveditelnosti elektrizace dalších tratí jsou postupně řešeny. Možnost napájet z nově budovaných pevných trakčních zařízení tedy budou mít nejen vozidla provozovaná na příslušných nově elektrizovaných tratích, ale prostřednictvím akumulátorů i vozidla provozovaná na okolních tratích (viz schéma na obr. 2), což zvyšuje ekonomickou efektivnost liniové elektrizace železničních tratí. Dvouzdrojová vozidla tudíž nejsou protipólem liniové elektrizace, ale jejím vhodným doplňkem.



Obr. 2 - Schéma získávání el. energie u hnacích vozidel polozávislé elektrické trakce s akumulátorem (rekup. = rekuperace, aku = akumulátor)

Zdroj: vlastní na základě [6], s. 40

V případě nutnosti navyšování energie v akumulátoru během stání soupravy při jejím obratu na lince je nanejvýš vhodné, aby k tomu docházelo ve stanici vybavené pevnými trakčními zařízeními ideálně střídavé trakční soustavy. Pokud ke stání vozidla nedochází na koleji/kolejích s trolejovým vedením a nejeví se jako nákladově efektivní tuto kolej/tyto koleje tímto vedením dodatečně dovybavit, pak se nabízí buď standardně v ČR existující doplnění tzv. stojany s kabely pro předtápění souprav (topné stojany), nebo vybudování krátkého úseku tzv. pevné troleje nad příslušnou kolejí/kolejemi, příp. použití jednoduché konstrukce trolejového vedení. Jak topné stojany, tak pevná trolej (jednoduchá konstrukce trolejového vedení) pak budou napájeny kabely nebo trakčním vedením z pevných trakčních zařízení té části stanice, která je jimi vybavena.

2.3 Využití vodíku v osobní železniční dopravě

Silnou stránkou vodíku je jeho vysoký energetický obsah, který dosahuje 33 kWh/kg (u nafty činí 12 kWh/kg). Avšak vodík dosahuje velmi nízké hustoty (1 kg vodíku zabere objem 11 m³). Před použitím v dopravních prostředcích je tak nutno vodík stlačit (obvyklá hodnota přetlaku dosahuje 350 barů). Při tomto tlaku dosahuje 1 kg vodíku objemu 32 litrů. Avšak příslušná ocelová tlaková nádoba dosahuje hmotnosti cca 50 kg (tedy hmotnost netto 1 kg, brutto 51 kg), což snižuje měrnou energii zásob vodíku z 33 000 kWh/netto t na 650 kWh/brutto t. Při použití palivového článku s účinností 65 % klesá výsledná měrná elektrická energie zásob vodíku na hodnotu 420 kWh/brutto t. To je již oblast, ke které se blíží nově vyvíjené akumulátory lithium-síra

(400 kWh/t). Proto směřuje vývoj k lehčím kompozitním zásobníkům vodíku, což je náročné, neboť malá molekula vodíku snadno uniká i drobnými netěsnostmi či póry. Kompozitní tlaková nádoba o objemu 32 litrů dosahuje hmotnosti cca 50 kg (tedy netto 1 kg, brutto 21 kg), což snižuje měrnou energii zásob vodíku z 33 000 kWh/netto t na 1 570 kWh/brutto t. Při použití palivového článku s účinností 65 % klesá výsledná měrná elektrická energie zásob vodíku na hodnotu 1 020 kWh/t.

Jak stačování vodíku na vysoký skladovací tlak, tak i přeprava vodíku (kamion, který přepravuje 250 kg vodíku, dosahuje hmotnosti 40 t) jsou velmi energeticky náročné. Proto je trendem výroba vodíku v místě provozu (plnění) dopravních prostředků, a to buď elektrolyzou s použitím přebytečné elektrické energie z obnovitelných zdrojů, nebo parním reformingem z metanu, odloučeného membránovými čističi z bioplynu. To jsou zároveň perspektivní způsoby výroby vodíku, které jsou nezávislé na aplikaci fosilních paliv, ze kterých je vodík zpravidla vyráběn v současnosti.

Z hlediska spotřeby energie a nákladů na energii je vodíková technologie energeticky úspornější a nákladově levnější než naftový pohon, ale energeticky náročnější a nákladově dražší než elektrické liniové či akumulátorové napájení. Při návrhu plnicí stanice je důležité správné stanovení jejího denního, příp. i hodinového výkonu množství odebíraného vodíku a počtu plnicích stojanů, tj. počet najednou plněných vozidel. Tomu poté odpovídá dimenzování zásobníků vodíku, přičemž v případě jeho výroby v těsné blízkosti plnění se předpokládá použití stlačeného plyného vodíku (nikoli zkapalněného).

3. Výběr vhodné trakce v osobní železniční dopravě

Rozhodování o požadované trakci vozidla, které bude nasazeno na linky osobní dopravy, by se mělo odvíjet od vybavení infrastruktury z hlediska pevných elektrických trakčních zařízení, provozních parametrů linky a dalších hledisek. Rozhodně však nemá smysl pořizovat nová hnací vozidla pouze se spalovacím motorem, která neumožní v průběhu životnosti vozidla výměnu za úspornější a ekologičtější trakční systém.

V zásadě tedy přichází v úvahu následující kombinace charakteristik vlakové linky a železniční infrastruktury, na níž má být provozována, a z toho plynoucí nejvhodnější řešení trakce:

1) Celá trasa linky je vedena po celou dobu životnosti hnacích vozidel na ní nasazených výhradně po elektrizovaných traťových úsecích.

Na tyto linky jsou vhodná hnací vozidla (HV) závislé elektrické trakce. Je potřeba, aby HV byla buď hned od svého nasazení dvousystémová, nebo aby bylo možné v rámci velkých oprav HV doplnit jejich vybavení tak, aby umožnilo jízdu buď pod stejnosměrnou i střídavou soustavou

(stalo se tak dvousystémovým), nebo jen pod střídavou soustavou (pokud dojde k přepnutí napájecí soustavy na celé trase linky i na trasách soupravových jízd).

2) Část trasy linky je vedena po elektrizovaných traťových úsecích nebo alespoň v místech obratu soupravy na lince je k dispozici zatrolejovaný úsek koleje.

Za této situace je vhodné nejprve prověřit nasazení HV polozávislé elektrické trakce s akumulátory za předpokladu dobíjení akumulátorů během jízdy vlaku. S ohledem na kapacitu akumulátorů a rychlost jejich dobíjení je nutné prověřit, zda HV bude stačit energie z akumulátoru pro provoz po neelektrizovaných úsecích linky a zda bude nutné využít stacionárního dobíjení, např. z důvodu prodloužení obrátových časů v koncových stanicích. Životnost akumulátorů nedosahuje životnosti HV, proto je vhodné o polozávislé el. trakci uvažovat i v případě, kdy v průběhu životnosti HV dojde k rozšíření elektrizace, a linka tak bude v budoucnu vedena pouze po elektrizovaných tratích, protože tím nedojde ke znehodnocení investice do takového HV.

Jestliže nasazení HV s akumulátory takto není možné nebo dostatečně spolehlivé, je možné uvažovat o nezávislé el. trakci s vodíkovými palivovými články, protože takto vybavená vozidla mají delší dojezd než vozidla s akumulátory, ovšem musí se do jejich oběhu zakomponovat doplňování vodíku. Při úvahách o využití vodíku k pohonu HV je důležité kalkulovat s vybudováním potřebné infrastruktury na výrobu a zejména plnění palivových článků (investiční náklady, provozní náklady, prostor).

3) Celá trasa linky je vedena po celou dobu životnosti hnacích vozidel na ní nasazených výhradně po neelektrizovaných traťových úsecích.

V takovém případě je na zvážení prověřit možnou úpravu linkového vedení tak, aby část linky byla vedena po elektrizovaných traťových úsecích. Toho lze docílit i dělením soupravy vlaku v některé nácestné stanici, kdy další HV řazené ve vlaku je sice během jízdy na části trasy linky nečinné z hlediska vývinu hnací síly, ale může dobíjet své akumulátory. Rovněž stojí za prověření vybudování stacionárních míst dobíjení v obrátových stanicích linky. Když žádný z výše uvedených nástrojů nepovede k možnosti nasazení vozidel s akumulátory, je potřeba se pokusit o vytvoření podmínek pro nasazení vozidel nezávislé elektrické trakce s palivovými články.

4) Celá trasa linky je vedena výhradně po neelektrizovaných traťových úsecích, ale během životnosti pořízených hnacích vozidel se očekává elektrizace úseků, po nichž je linka vedena.

V takovém případě je vhodné koordinovat pořízení nových HV a zprovoznění pevných trakčních zařízení (elektrizaci). Výhodně se dají použít dvouzdrojové elektrické jednotky trolej/akumulátor, které se do

doby elektrizace budou provozovat v akumulátorovém režimu a po dokončení elektrizace v trolejovém režimu. Trakční akumulátor se tak již nebude po skončení své životnosti obnovovat a vozidlo pak bude provozováno výhradně jako závislé.

Pro často zastavující osobní vlaky lze za jako nepříliš vhodné (nouzové) řešení označit pořízení netrakčních jednotek, tedy vlakových jednotek bez HV, které budou do doby elektrizace doplněny zánovními motorovými lokomotivami, které po spuštění elektrizace budou vyměněny za lokomotivy závislé elektrické trakce. Zásadní nevýhodou této varianty je lokomotiva o vysoké hmotnosti v porovnání s několika málo připojenými osobními vozy a její nízká dynamika jízdy (zejm. zrychlení). O této variantě je možné uvažovat jen v případě dlouhých linek s velkými vzdálenostmi mezi sousedními místy zastavení a s požadovanou vysokou obsaditelností (dálkové linky).

4. Zajištění regionální osobní železniční dopravy

V souvislosti s postupným a nevyhnutelným otevíráním železničního trhu i v tzv. závazkové dopravě se jejím objednatelům právě nyní nabízí možnost nejen zvážit, ale i včas rozhodnout o konkrétních krocích v zavedení alternativních pohonů v osobní železniční dopravě. Kromě faktů nastíněných v předchozích kapitolách je však vhodné zvážit i další důležité skutečnosti stran infrastrukturních požadavků:

1) **ETCS:** Učinit jednoznačné rozhodnutí, jakým způsobem přistupovat k provozu na tratích bez ETCS zaústěných do železničních stanic tratí s výlučným provozem ETCS. Nebude-li přijato racionální řešení, lze předpokládat, že nutnost vybavení vozidel mobilní částí ETCS především na regionálních železničních tratích bude pro mnoho takovýchto tratí likvidační.

2) **GSM-R:** Důsledně rozvíjet jednotný rádiový komunikační systém tak, aby nebylo nutné vybavovat vozidla různými systémy, a byl tak zjednodušen jejich přechod mezi tratěmi.

3) **Délka nástupišť:** Při investičních akcích brát zřetel na možné výhledové požadavky provozu a nedržet se zaslepeně parametrů stávajících vozidel (délek vlaků). Délka nástupišť by se neměla stávat zásadním omezujícím faktorem pro rozvoj provozu, a tak, je-li to možné, je třeba je navrhovat buď dostatečné délky, nebo alespoň zachovávat prostor pro jejich možné prodloužení.

4) **Trakce:** Urychleně připravit a realizovat konverzi na soustavu 25 kV/50 Hz, u níž bude garantovaný postup přechodu na střídavou trakční soustavu v jednotlivých časových obdobích. Vybírat úseky pro elektrizaci tak, aby umožňovaly nasazení vozidel polozávislé elektrické trakce na logicky vedené linky z hlediska přepravní poptávky, a případně

vybavovat dobíjecí infrastrukturou stanice obratu linek s vozidly polozávislé el. trakce.

5) **Zařízení služeb:** Ve spolupráci s objednateli dopravy vybrat konkrétní železniční uzly a stanice, ve kterých se zřídí koleje pro provozní ošetřování souprav; ne/existence zázemí pro soupravy totiž vytváří v mnoha případech zásadní vstupní podmínku/omezení pro rozhodování o podobě provozních souborů, tedy i o vedení linek s dvouzdrojovými HV.

6) **Traťová rychlost:** Důsledně prověřovat ve spolupráci s objednateli dopravy možnosti zvýšení traťové rychlosti pro maximální hodnoty nedostatku převýšení tak, aby společným cílem bylo nejen zatraktivnění spojení mezi dvěma místy, ale též dosažení systémových jízdních dob.

7) **Propustnost:** Úzká spolupráce s objednateli dopravy při navrhování dopraven pro křižování a předjíždění vlaků. Jejich rozmístění nemá vyhovovat jen stávající provozní koncepci a krátkodobému výhledu, ale mělo by umožňovat i variantní řešení železniční dopravy ve výhledu několika desetiletí.

5. Závěr

Stojíme na prahu doby, kdy i v železniční dopravě nastává vhodná příležitost k zavedení tzv. alternativních pohonů, jejichž hlavním smyslem je efektivní nakládání s energií a minimalizace vlivu dopravy na životní prostředí. Ačkoliv železnice má již dlouho dobře zvládnuté využití elektrické energie, stále existuje řada tratí, kde klasickou závislou elektrickou trakci nebude možné využít. Právě zde je vhodné zvážit a technicky podpořit provoz dvouzdrojových vozidel nebo vozidel s palivovým vodíkovým článkem. Praktické příklady využití můžeme již nyní najít např. v Německu či Rakousku a na úrovni studií u nás např. i v Ústeckém kraji či Moravskoslezském kraji.

Literatura

- [1] ČESKÁ VODÍKOVÁ TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA. Strategická výzkumná agenda rozvoje vodíkového hospodářství v ČR [online]. Husinec-Řež, 2010, 43 s. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: https://www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/SVA_HYTEP.pdf
- [2] FORSTER, Mike a Palo ALTO. Caltrain 2.0 - Hydrogen Fuel Cell EMUs [online]. 2017, 29 s. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://www.mikeforster.net/wp-content/uploads/2017/05/Caltrain-2.0-Hydrogen-Fuel-Cell-EMUs-Mike-Forster-v2.0.pdf>

- [3] ÖBB-PERSONENVERKEHR AG. ÖBB Cityjet TALENT3: The future of local and regional transport. ÖBB [online]. [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.oebb.at/en/neuigkeiten/cityjet-eco>
- [4] POHL, Jiří. Dekarbonizace osobní železniční dopravy koordinovanou kombinací liniového, akumulátorového a vodíkového napájení elektrických vozidel. Přednáška z předmětu 12IKOD na ČVUT v Praze Fakultě dopravní 03. 12. 2019 [prezentace online po přihlášení].
- [5] POHL, Jiří. Energetické aspekty moderní železniční dopravy. Vědeckotechnický sborník ČD [online]. Praha: Generální ředitelství Českých drah, 2018, (45), 19 s. [cit. 2019-03-13]. ISSN 1214-9047. Dostupné z: https://vts.cd.cz/documents/168518/195507/4518_Pohl_Energeticke+aspekty+moderni+zeleznicni+dopravy_kor.pdf
- [6] POHL, Jiří. Rychlá osobní železniční doprava: Díl 70: Na pomoc přetíženým tratím. Železniční magazín. Praha: Railway Builder, 2019, 26(4), 22–25. ISSN 1212-1851.
- [7] VOBOŘIL, David. Power to Gas – budoucnost akumulace elektřiny? OENERGETICE.cz [online]. 24. 06. 2015, 16:20 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/power-to-gas-budoucnost-akumulace-elektriny>

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za podpory projektu Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS20/138/OHK2/2T/16 „Stanovení a optimální využití parametrů železniční dopravní cesty“.

Pěší proudy na nástupištích

Ing. Bc. Jan Kruntorád

ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů
Konviktská 20, 110 00, Praha 1 - Staré Město
e-mail: krunjtjan@fd.cvut.cz

Abstrakt

Nespornou výhodou kolejových systémů obecně je jejich schopnost pojmout velký objem cestujících. Ve významných uzlech toto s sebou nese i zvýšené požadavky na zařízení pro osobní přepravu, zejména na nástupiště, na nichž dochází ve stejný čas k prolínání proudů nastupujících a vystupujících, což vedle diskomfortu při cestování znamená i časové ztráty. Proudů jsou více vzájemně ovlivněny v případě, kdy tok cestujících není homogenní, tedy když existuje významný rozptyl rychlostí pohybu jednotlivých entit pěšího proudu (například cestující se sníženou schopností pohybu a orientace, osoby přepravující objemná a těžká zavazadla či turisté neznalí prostředí).

Klíčová slova

Dopravní terminál, nástupiště, pěší proud, úroveň kvality pěšího proudu.

Pedestrian Flows on Platforms

Abstract

The undeniable advantage of rail systems in general is their ability to accommodate a large volume of passengers. In important nodes, this also entails increased demands on the infrastructure for passengers, especially on the platform, where the currents of boarding and disembarking intersect at the same time, which, in addition to discomfort when travelling, also means time wastage. Currents are more mutually influenced when the flow of passengers is not homogeneous, i.e. when there is a significant variance of values in the speeds of movement of individual entities of pedestrian flow (for example, passengers with reduced mobility, people with large and heavy luggage or tourists unfamiliar with the environment).

Keywords

Public transport terminal, platform, pedestrian flow, pedestrian level of service.

1. Úvod

V posledních letech je zaznamenáván růst počtu cestujících v železniční dopravě, přičemž tento trend je možné pozorovat nejen v České republice, ale i v celé Evropě. Vyšší počty přepravených osob se nepromítají pouze do vyšší obsazenosti vlaků, ale rovněž i do silnějších pěších proudů v dopravních terminálech.

Dopravní terminály se od jiných budov odlišují tím, že jimi proudí davy lidí a obvykle se v jejich prostorách nezdržují déle, než je potřebné. Je nezbytné, aby se lidé mohli uvnitř takových zařízení pohybovat plynule a aby ke tvoření davů docházelo co nejméně. Za účelem zajištění bezpečnosti, přívětivosti, užitečnosti a rozvržení funkčních prvků uvnitř takových (částečně či zcela) uzavřených prostor je nezbytné porozumět zákonitostem chování proudu lidí.

Chování pěšího proudu v terminálech ovlivňují tři základní faktory [1]:

- počet a vlastnosti lidí tvořících proud
- rozvržení a umístění zařízení v terminálu
- způsob nalézání cesty uvnitř terminálu.
-

Chování cestujících je nutné popsat zvláště pro jednotlivé fáze přítomnosti na nástupišti (příchod na nástupiště, cesta po nástupišti, vyčkávání na příjezd vlaku, nástup do vozu a výstup z vozu, cesta po nástupišti a východ z nástupiště), přičemž významnou roli představuje rozmístění vstupů a výstupů na nástupišti, což představuje počátky a konce trajektorií pohybů cestujících. Článek se zabývá porovnáním přístupů k této problematice v tuzemsku i v zahraničí, zejména v oblasti vlastností ovlivňující pěší proud.

2. Typy pěších proudů

Loukaitou-Sideris a kol. [2] rozlišuje čtyři typy pěších proudů v dopravních terminálech dle vzorových situací:

Dopravní špička

Tento typ proudu se vyskytuje nejčastěji v období 6.-9. a 16.-19. hodiny pracovního dne (špička může v jiných městech začínat a končit dříve) a ve skladbě pěšího proudu převládají pravidelně dojíždějící (do školy nebo zaměstnání). Charakteristické znaky proudu:

- Pro dosažení cílů cest používají pravidelně stejné stanice, znají velice dobře obvyklé trasy. Proto nevěnují pozornost navigačním

systémům ve stanicích, ale spoléhají se na vlastní zkušenost. Při čekání na nástupištích přesně vědí, kde stát, aby byli ve výstupní stanici co nejbližší východu.

- Využívají čas dojížděky pro jiné aktivity (multi-tasking). Mohou být odtrženi od svého okolí, protože čas využívají ke čtení či práci na mobilním zařízení.
- Zejména v období ranní špičky se pohybují ve výstupní stanici rychleji, aby dorazili do práce a školy včas.
- Postupem času se přizpůsobili typickým podmínkám dojíždění, a proto mohou být oproti příležitostným cestujícím tolerantnější k vyšší hustotě cestujících. Zároveň však mohou být více frustrováni v případě zpoždění či výpadků spojů.

Evakuace

Evakuace železničních stanic a dopravních terminálů jsou velice vzácné, a tak je cestující nepovažují za běžný jev při cestování. V souvislosti s takovou mimořádností je nutné si uvědomit, že chyby v návrhu opatření pro případ evakuací mohou vést k vážným zraněním či úmrtím, a to zejména pro případ, že davy lidí začnou panikařit. Typické znaky pěšího proudu při evakuaci:

- Jednotlivci se stávají nervózními.
- Lidé se snaží pohybovat rychleji než obvykle.
- Lidé se zapojují do fyzických interakcí, například do tlačenic.
- Pohyb davu se stává nekoordinovaným, zejména v úzkých hrdlech.
- Východy jsou ucpané.
- Fyzické interakce mohou vést k nebezpečně vysokým tlakům, které mohou vyústit v ohyb ocelových bariér a bourání zdí.
- Padlí a zranění se pro ostatní jedince v davu stávají překážkami bránícími v útěku.
- Projevují se znaky chování stáda, člověk dělá totéž, co dělají lidé okolo něj.
- Lidé si nevšimnou alternativních východů nebo je dostatečně nevyužívají.

Speciální události

Velké koncerty nebo sportovní utkání jsou jedinečnou příležitostí, jak představit veřejnou dopravu novým uživatelům. Doprava a možnosti parkování bývají v blízkosti míst akcí natolik neuspokojivé, že jsou lidé otevřenější k využití jiných dopravních módů, které jim umožní se takovým problémům vyhnout. Především železniční doprava se hodí ke zvládnutí nárazově vysokých poptávek po přepravě, kterými jsou začátky a zejména konce těchto událostí typické. Návrhové intenzity pěších pro evakuace vychází zpravidla ze špičkové čtvrt hodiny pracovního dne,

ačkoliv pro stanice obsluhující velké stadiony či arény by měly být brány v potaz také špičkové intenzity během opouštění místa konání akce.

Období nižší poptávky po přepravě

V mimošpičkových obdobích, zejména v noci, se nebezpečí spojená s velkým množstvím lidí stávají méně významná než nebezpečí spojená s místy bez lidí – nesledované prostory a potenciál ke kriminalitě. Podle průzkumu v Los Angeles upřednostňují cestující v noci pocit bezpečí před pohodlím či spolehlivostí spojů.

3. Parametry ovlivňující pěší proud

Bohari [3] uvádí, že rychlost lidské chůze je odlišná pro muže a ženy, protože se odvíjí od odlišných fyziologických vlastností stavby mužského a ženského těla. Muži se pohybují zpravidla rychleji než ženy, a to průměrnou rychlostí chůze přibližně 1,5 m/s, oproti 1,2 m/s u žen. Věk je dalším kritériem, jež ovlivňuje rychlost pěších. Lidé nad 55 let věku jsou nejpomalejší skupinou mezi pěšimi, neboť lidé v této věkové skupině jsou náchylnější k pádu při chůzi oproti mladším lidem, a proto se v zájmu zachování vlastního zdraví pohybují nižší rychlostí.

Jacura a kol. [4] zavádí kategorie cestujících, které se liší v závislosti na přepravovaném zavazadle spolu s cestujícím:

- cestující bez zavazadel, příp. s příručním zavazadlem (kabelka, kufřík, malá nákupní taška)
- cestující s malým batohem (běžný školní batoh)
- cestující s velkým batohem (řádově batohy o objemu nad 50 l, krosny)
- cestující s kufrem nebo taškou přes rameno (zavazadlo obdobné jako velký batoh, ovšem nesené po boku cestujícího)
- cestující s kufrem na kolečkách
- cestující s dětským kočárkem
- cestující s jízdním kolem

Toto členění bylo zavedeno primárně za účelem stanovení plošných nároků jednotlivých kategorií cestujících při čekání. Autor článku se však domnívá, že tato kategorizace může být využita i při určování rychlostí pohybů jednotlivých skupin cestujících, a tedy že se jedná o jednu z veličin ovlivňující celkový tok cestujících.

Chování pěšího proudu se může lišit i napříč jednotlivými zeměmi, což je dáno místními kulturními návyky.

Tab. 1 - Kulturní odlišnosti ovlivňující lidské chování [1, s. 12, překlad vlastní]

Veličina	Příklady
Rychlost chůze	Ve východoasijských a evropských metropolích dosahuje průměrná rychlost pěších 1,7 m/s, zatímco ve městech Středního východu chodí lidé rychlostí nižší (1,0–1,2 m/s).
Strana chůze	Lidé obvykle chodí po téže straně, na které probíhá provoz na pozemních komunikacích. Přibližně v 1/3 zemí je zaveden levostranný provoz, v ostatních pravostranný.
Sociální odstup	Asiaté a Jihoameričané udržují bližší odstup než západní kultury. Naopak v arabských zemích se zdají být sociální odstupy větší.
Věková struktura	Západní státy mají vyšší podíl starších lidí.
Prevalence disabilit (rozšíření omezení)	V zemích s vyššími příjmy tvoří starší lidé větší část populace, ale mají nižší úroveň zdravotních omezení než lidé z nízká a středněpříjmových zemí.
Noví uživatelé	Existují lidé, kteří nikdy nejeli ve výtahu nebo na eskalátoru.
Pohybové pomůcky	V některých zemích handicapovaní téměř nepoužívají invalidní vozíky, zatímco v západních zemích je jejich použití běžné.
Dětské kočárky	V některých kulturách nejsou dětské kočárky vůbec využívány.
Jízdní kola	V některých zemích zauímají jízdní kola vyšší podíl na modal-share a jsou i více přepravována ve vozech veřejné dopravy.
Doba čekání	Lidem z východní Asie čekání nevádí tolik jako lidem ze západních zemí.
Jízdní komfort	Ve východní Asii je u výtahů preferován komfort, kdežto v Severní Americe je upřednostněn výkon (například zajišťující vyšší zrychlení výtahu).
Chození po eskalátorech	V několika zemích je jedna strana určena pro stání a druhá pro chození. Existují i státy (např. Indie), kde lidé stojí na obou stranách eskalátoru a pouze několik prvních lidí chodí po eskalátoru.







4. Nástupiště

Nástupiště zastávají jak funkci chodníků, kdy je cestující využívají jako spojovací komunikace mezi dveřmi vlaků a přístupovými komunikacemi na nástupiště (schodištěm, rampou, eskalátorem, výtahem), tak i funkci čekacích ploch, když na nich cestující vyčkávají na příjezd vlaku.

4.1. Kvalita pěšího proudu na nástupištích

J. J. Fruin [5] se v 70. letech 20. století zabýval chováním pěších proudů, a to jak na chodníku, tak i na schodištích a čekacích plochách. Na základě průměrných plošných nároků na osobu byla vytvořena klasifikace úrovní kvalit pěšího proudu (ÚKPP) na plochách pro čekání, kam lze zařadit i nástupiště. Jelikož v místě čekání či shromažďování nejsou hodnoty intenzity proudu relevantní, hodnotící kritéria jsou postavena na pocitu komfortu a možnosti pěších pohybovat se skrz dav.

Tab. 2 - Úroveň kvality pěšího proudu pro čekací plochy [2, s. 64, překlad vlastní], [5]

ÚKPP	Průměrná plocha na osobu [m ² /os]	Průměrná mezilidská vzdálenost [m]	Popis	Ilustrace
A	≥ 1,21	≥ 1,22	volný pohyb, bez vlivu na ostatní účastníky proudu	
B	0,93-1,21	1,07-1,22	pohyb částečně omezený, lze se vyhnout vyrušení ostatních účastníků	
C	0,65-0,93	0,91-1,07	pohyb omezený s vyrušením ostatních účastníků, hustota je v rozsahu přijatelného osobního komfortu	
D	0,28-0,65	0,61-0,91	pohyb silně omezen, pohyb vpřed je možný pouze jako skupina	
E	0,19-0,28	< 0,61	pohyb v rámci davu nemožný, při stání nevyhnutelný fyzický kontakt s ostatními	
F	< 0,19	< 0,61	pohyb v rámci davu nemožný, prakticky všichni lidé v davu jsou v přímém fyzickém kontaktu s ostatními, existuje možnost tlačenic a paniky	

4.2. Rozměry nástupiště dle českých technických předpisů

Návrh parametrů nástupišť na železničních tratích v České republice se řídí normou ČSN 73 4959 Nástupiště a nástupištní přístřešky na drahách celostátních, regionálních a vlečkách [6].

Šířka nástupiště musí být taková, aby mimo bezpečnostní pás (pásky) byly na nástupišti zachovány alespoň dva pěší průchody šířky 800 mm. Konstrukce (překážky) o délce do 10 m musí být vzdáleny min. 1 200 mm od okraje bezpečnostního pásu a min. 2 000 mm od nástupní hrany, konstrukce o délce nad 10 m ve vzdálenosti min. 1 600 mm od okraje bezpečnostního pásu a min. 2 400 mm od nástupní hrany. Šířka nástupišť musí vycházet ze špičkové frekvence cestujících, průchodné šířky a z možnosti napojení přístupových komunikací (schodiště, šikmé rampy, výtahy). Neplnou-li z těchto požadavků přísnější omezení, pak šířka musí být alespoň 6,1 m u ostrovních oboustranných, 4,3 m u poloostrovních oboustranných, 3,2 m u jazykových a konců oboustranných ostrovních a poloostrovních, 2,5 m u vnějších a ostrovních jednostranných nástupišť (má být 3,0 m). Délka nástupních hran musí odpovídat délce nejdelšího vlaku pro přepravu osob, který u nástupiště pravidelně zastavuje.

Na jednoho cestujícího ze špičkové frekvence nastupujících i vystupujících cestujících za 15 minut ze všech vlaků stojících u nástupiště připadá nejméně 0,5 m² plochy nástupiště. Do plochy nástupiště se nezapočítává plocha bezpečnostních pásů.

5. Předpokládaný postup výzkumu

Cílem výzkumu je určit veličiny, jež ovlivňují chování jednotlivých pěších, a vyhodnotit jejich vliv na intenzitu, rychlost a hustotu celého pěšího proudu.

5.1. Metody měření a vyhodnocení dat

Pěší pohyb bude zaznamenán pomocí videokamer a záznam bude dále vyhodnocen automatizovaně softwarem (produkt společnosti GoodVision) s předpokládanými výstupy: zaznamenání trajektorie, rychlosti [m·s⁻¹] a směru pohybu (tam/zpět) jednotlivých cestujících, hustota [os·m⁻²] a intenzita pěšího proudu vztažená na šířku průchodu [os·m⁻¹·s⁻¹]. Nad rámec automatizovaného zpracování budou ručně dodána data o konstrukčních vlastnostech cesty (např. délka, šířka, podélný sklon, překážky – přítomnost, rozměry, umístění) a jednotlivých pěších: kupř. pohlaví (muž/žena), věk (dítě/dospělý/senior), fyzický stav (osoba se sníženou schopností pohybu nebo orientace/bez omezení), přeprava spoluzavazadel (dle [4]).

Analýza a vyhodnocení statistických dat proběhne v doplňku Analýza dat pro Microsoft Excel, popřípadě v programu SciLab.

5.2. Model pěšího pohybu

Pro simulaci pěšího pohybu bude využit software SimWalk. V první fázi bude namodelováno prostředí (zadání fyzických rozměrů prvků), následně budou zadány charakteristiky pohybu pěších, které budou pocházet z videozáznamů. Po běhu simulace budou sebrány výsledky a podrobeny dalšímu statistickému zpracování.

6. Závěr

V první části článku jsou uvedeny vlastnosti, jež se podílí na chování pěšího proudu. Dále je popsán způsob klasifikace úrovně kvality pěšího proudu na nástupištích a stanovení rozměrů nástupiště dle technických předpisů platných v České republice. Ve druhé části jsou zachyceny poznatky přímo aplikovatelné na nástupiště, na které navazuje popis předpokládaného dalšího postupu.

Předpokládané výstupy autorova výzkumu by mohly vést k inovacím v oblasti rozmístění a dimenzování rozměrů funkčních ploch v zařízeních osobní přepravy.

Literatura

- [1] KONE Corporation. *Planning Guide for People Flow for transit stations*. [online]. [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: https://www.kone.nl/Images/7172_People_Flow_Planning_Guide_for_Transit_centers_tcm30-25526.pdf
- [2] LOUKAITOU-SIDERIS, A. et al. *Passenger Flows in Underground Railway Stations and Platforms*. [online]. San José, 2015 [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: <https://transweb.sjsu.edu/sites/default/files/1230-passenger-flows-in-underground-railways-stations-platform.pdf>
- [3] BOHARI, Z. A. et al. Simulating the Pedestrian Movement in the Public Transport Infrastructure. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* [online]. 2015, 2016(222), 791-799 [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/304907648_Simulating_the_Pedestrian_Movement_in_the_Public_Transport_Infrastructure/fulltext/577edb1008ae9485a43690cc/Simulating-the-Pedestrian-Movement-in-the-Public-Transport-Infrastructure.pdf
- [4] JACURA, M. a kol. *Optimální podoba přestupních uzlů veřejné hromadné dopravy [certifikovaná metodika]*. Praha: ČVUT v Praze, 2012. ISBN 978-80-01-05053-8.

- [5] FRUIN, J. J. *Designing for pedestrians: A level-of-service concept*. 1971.
- [6] ČSN 73 4959. *Nástupiště a nástupištní přístřešky na drahách celostátních, regionálních a vlečkách*. Praha: ÚNMZ, 2009.

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za podpory Studentské grantové soutěže ČVUT v Praze v rámci projektu č. SGS20/137/OHK2/2T/16 „Chování pěších v terminálech VHD a na přístupových komunikacích k nim“.

Možnosti měření deformace a ojetí tramvajových srdcovek

Bc. Magdalena Křečková

Fakulta stavební ČVUT v Praze

Thákurova 7/2077, 166 29, Praha 6 - Dejvice

e-mail: magdalena.kreckova@fsv.cvut.cz

Abstrakt

Tramvajová síť na území Prahy je rozdělena na několik oblastí, které jsou rozděleny mezi pochůzkáře. Na doporučení pochůzkářů následně dochází ke kontrolním měřením určených úseků přístrojem Contour II. Pro další možné sledování kolejových konstrukcí bylo přistoupeno k nezávislému ověření výstupů pro určení případné odchylky měření přístroje Contour II, které popisuje následující text, a získání možných paralelních postupů pro sledování vývoje ojetí a deformace kolejových konstrukcí potřebné pro optimalizaci údržby.

Klíčová slova

Srdcovka, měření, sádrový odlitek

Possibilities of measuring deformation and abrasive rail wear of tram crossings

Abstract

The tram network in the territory of Prague is divided into several areas, which are divided among the patrolmen. On the recommendation of the patrolmen, control measurements of the designated sections are then performed with the Contour II device. For further possible monitoring of track structures, an independent verification of the outputs was performed to determine the possible measurement deviation of the Contour II device, and to obtain possible parallel procedures for monitoring the development of abrasive rail wear and deformation of track structures, which is needed for maintenance optimization.

Keywords

Crossing, measurement, plaster cast

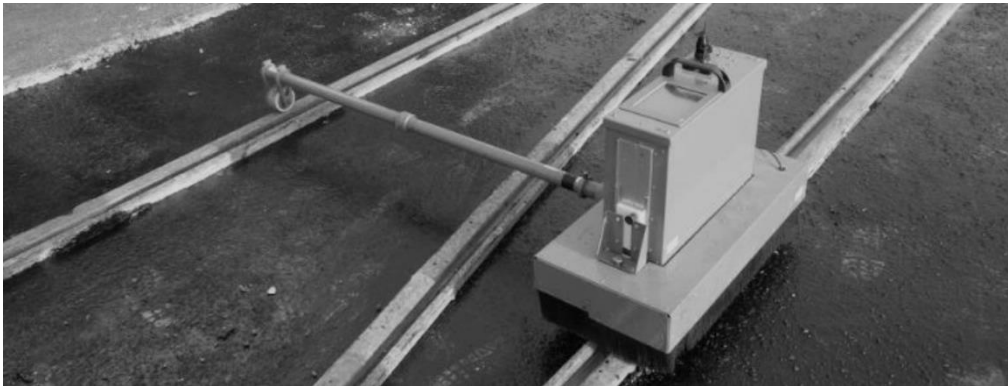
1. Úvod

Při údržbě a správě tramvajové sítě Dopravního podniku hl.m. Prahy (dále jen DPP) probíhá sledování a údržba kolejových konstrukcí. Mezi tyto konstrukce patří kolejová křížení, kolejová dilatační zařízení, výhybky a jejich součásti, především jazyky, srdcovky a části koleje s mělkým žlábkem. Pokud při monitoringu dojde k překročení mezních hodnot sledovaných parametrů, nebo k vyhodnocení konstrukce jako nevyhovující, mělo by dojít k její opravě, v krajních případech k její výměně. Jednou z problematických konstrukcí z hlediska údržby a opotřebení jsou výhybky a kolejové křížení, konkrétně jejich srdcovky. Zde dochází kojetí kolejnice a k deformacím žlábků způsobených tramvajovým provozem a opakujícími se dynamickými účinky průjezdu kol. Toto ojetí způsobuje nejen problémy s opotřebením konstrukce, ale také problémy spojené se zvýšenou emisí hluku.

Dle vyhlášky Ministerstva dopravy [1] se pro zajištění provozuschopnosti tramvajové dráhy provádějí pravidelné prohlídky a měření staveb drah. Pravidelné prohlídky tramvajových výhybek v dopravních kolejích se provádějí každý den. Zároveň dochází každé 2 týdny k obchůzce trati. Tramvajová síť na území Prahy je rozdělena na několik území, která jsou rozdělena mezi pochůzkáře. Na doporučení pochůzkářů poté dochází ke kontrolním měřením určených úseků různými přístroji (měřicí vozík Krab, Contour II.).

2. Měřicí přístroj Contour II.

Měření pomocí měřicího přístroje Contour II. se využívá pro kontrolu ojetí kolejnic v tramvajové síti DPP. Zpravidla se používá pro kontrolu ojetí v obloucích a pro kontrolu správného provedení návarů náběhů mělkých srdcovek. Přístroj měří pomocí laseru s červeným bodovým paprskem, který je rozmítán po kolejnici a je zároveň snímán pomocí kamery. Měření probíhá za běžných klimatických podmínek bez omezení. Pokud je zvýšená vlhkost vzduchu během měření, musí dojít k řádnému vysušení sledovaných kolejnic a následně musí být na jejich povrch nanesen bílý křídový sprej. Teplotou vzduchu není měření ovlivněno.



Obr. 1 - Měřicí přístroj Contour

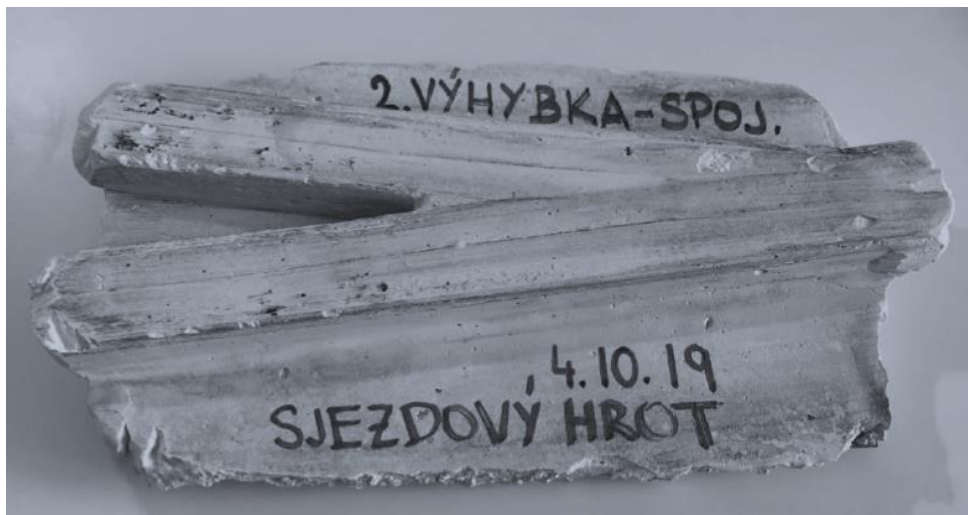
Jelikož k přístroji nebyly poskytnuty technické specifikace, všechny tyto informace byly zjištěny na základě zkušeností autora článku a pracovníků DPP. Z tohoto důvodu byly také provedeny kontrolní měření některých rozměrů srdcovek (šířka, hloubka žlábků) pomocí posuvného měřítka. Také byly provedeny sádrové odlitky srdcovek, které byly dále skenovány pomocí 3D skeneru.

3. Kontrolní měření

Kontrolní měření přesnosti měření přístroje Contour II bylo provedeno pomocí odlévání sádrových odlitků, které byly dále přeměřeny posuvným měřítkem a také byly skenovány a porovnávány s výsledky z měřicího přístroje Contour II.

3.2. Sádrové odlitky

Sádrové odlitky srdcovky byly odlévány vždy v bezvýlukovém provozu a neprodleně po měření měřicím přístrojem Contour II. Z toho důvodu byla k odlévání vzorků použita rychle tuhnoucí sádra s dalším přidaným urychlovačem tuhnutí. I přes to, že sádra měla čas tuhnutí přibližně 2 min, nebylo možné udělat odlitky frekventovaných srdcovek. Z toho důvodu byla odlévána vždy srdcovka v tramvajovém obratišti Spojovací, kde tramvaje jezdí v delších intervalech, a navíc bylo možné tramvaje zdržet ve výstupní zastávce a dokončit tak odlitek bez dalšího narušení provozu.



Obr. 2 Příklad sádrového odlitku sjezdového hrotu srdcovky – tramvajové obratiště Spojovací

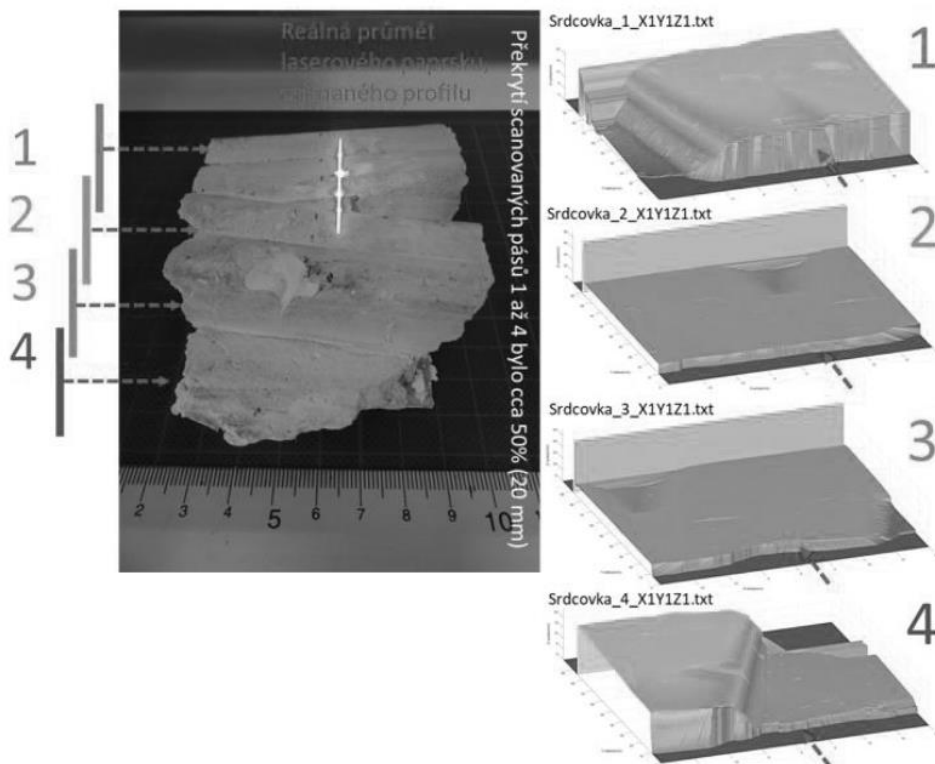
Takto získané sádrové odlitky byly pro prvotní kontrolu změřeny pomocí posuvného měřítka. Tímto způsobem bylo možné změřit pouze hloubku žlábků v daném profilu a také jeho šířku v rovině TK. Pro porovnání přesnosti měření přístroje Contour II byla vytvořena následující tabulka s hodnotami hloubek žlábků v přímém a odbočném směru sjezdového hrotu srdcovky tramvajového obratiště Spojovací. Z hodnot hloubek žlábků je zřejmé, že největší odchylka mezi daty naměřenými měřicím přístrojem Contour II a daty naměřenými posuvným měřítkem ze sádrového odlitku činí 0,42mm. Odchytky zjištěné u zbylých srovnávaných dat se pohybuje v rozmezí 0,05-0,10 mm.

Tab. 1 Hodnoty hloubek žlábků sledovaného profilu srdcovky Spojovací.

POROVNÁNÍ SJEZDOVÝ HROT		Datum měření				
		27.8.19	4.9.19	1.10.19	11.11.19	7.4.20
ODBOČNÝ SMĚR HLOUBKA	Contour II	14,29	14,43	14,87	-	16,15
	Sádrový odlitek	-	-	14,45	14,75	16,25
	[mm] Odchylka	-	-	0,42	-	0,10
PŘÍMÝ SMĚR HLOUBKA	Contour II	14,03	14,35	14,92	-	15,80
	Sádrový odlitek	-	-	15,00	15,15	15,75
	[mm] Odchylka	-	-	0,08	-	0,05

Uvedené hodnoty jsou maximální hodnoty měřené od roviny TK. Všechny hodnoty jsou uvedeny v mm.

Jelikož pomocí posuvného měřítka lze ověřit pouze 2 rozměry, byl takto zhotovený odlitek dále skenován. Zkušební vzorek byl naskenován pomocí laserového profilometru ScanControl LLT 2800-25. Vzhledem k velikosti vzorku byly provedeny 4 skeny tak, aby byla pokryta celá plocha odlitku kolejnice.

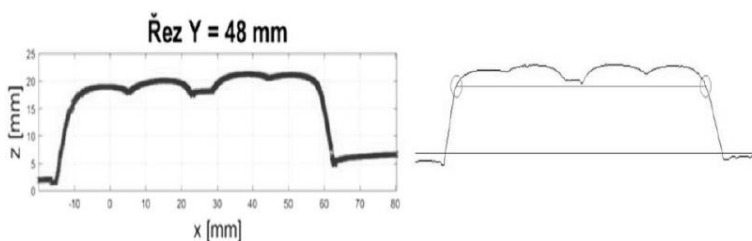


Obr. 3 - V levé části obrázku je znázorněno skenování vzorku. V pravé části obrázku jsou znázorněny jednotlivé skeny.

V každém skenu je 1000 profilů. Vzdálenost mezi jednotlivými profily činí 0,1mm. Počet bodů v jednom profilu činí 1024 a jejich vzájemná vzdálenost činí 0,039 mm. Počet bodů v jednom skenu tak činí více než 1 000 000 bodů. Skenované profily jsou tedy výrazně podrobnější než profily naměřené přístrojem Contour II, který snímá ve vzdálenosti 3,84-5,75 mm a vzdálenost jednotlivých bodů profilu činí 0,13 mm.

Jednotlivé skeny byly nejprve oříznuty a nasítovány v softwaru GOM Inspect. Dále byly naskenované plochy spojeny, čímž vznikl sken celé struktury odlitku kolejnice. Následně byly vygenerovány souřadnice sledovaného profilu rozjezdového hrotu srdcovky. Tento profil byl následně graficky srovnán s odpovídajícím profilem vykresleným

v programu Contour III-Eval. Toto porovnání je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obr. 4 - Porovnání 3D sken x Contour III-Eval

4. Závěr

Z porovnání dat získaných měřicím přístrojem Contour II a dat získaných pomocí posuvného měřítka vyplývá, že měření potvrdilo hloubku i tvar žlábků, resp. tvar celého ojetí srdcovky, stanovenou přístrojem Contour II. Z porovnání profilů získaných z 3D skenování a z programu Contour III-Eval vyplývá, že měření si odpovídají. Rovněž byla prokázána možnost snímat tvar ojetí a deformace celého žlábků za pomoci provádění sádrových odlitků části srdcovky, a to i na provozované trati, které umožňují i následnou analýzu a porovnávání různých profilů a vývoje jejich stavu v čase.

Literatura

- [1] Vyhláška č. 173/1995 Sb. Ministerstva dopravy. Prosinec 1995, verze k 1.4.2018. Ministerstvo dopravy.

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za podpory projektu Studentské grantové soutěže reg. č. SGS20/048/OHK1/1T/11 Studie kolejových konstrukcí tramvajových tratí a ověření správnosti výstupů měření nezávislými postupy.

Srovnávací měření ručních měřicích vozíků KRAB - prvotní analýza dat

Ing. Zuzana Mašková

*Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 7/2077, 166 29, Praha 6 - Dejvice
e-mail: zuzana.maskova@fsv.cvut.cz*

Abstrakt

Článek se zabývá popisem srovnávacího měření ručních měřicích vozíků typu KRAB. Nejprve pojednává o výběru lokality a samotném průběhu měření. Druhá část příspěvku se soustředí na prvotní základní analýzu naměřených dat, zejména z pohledu korelace průběhu zvolených parametrů a vytipování jevů, kterými se bude vhodné v budoucnu detailněji zabývat.

Klíčová slova

Ruční měřicí vozík, srovnávací měření, geometrické parametry koleje, analýza dat

Comparative measurement of measuring trolley of the KRAB type - initial data analysis

Abstract

The article deals with the description of comparative measurement of measuring trolleys of the KRAB type. The first part discuss the selection of the measuring location and the measurement process itself. The second part of the paper focuses on the initial basic analysis of the measured data, especially from the point of view of correlation of the course of selected parameters and selection of phenomena, which will be appropriate to deal with in more detail in the future.

Keywords

Measuring trolley, comparative measurement, track geometry parameters, data analysis

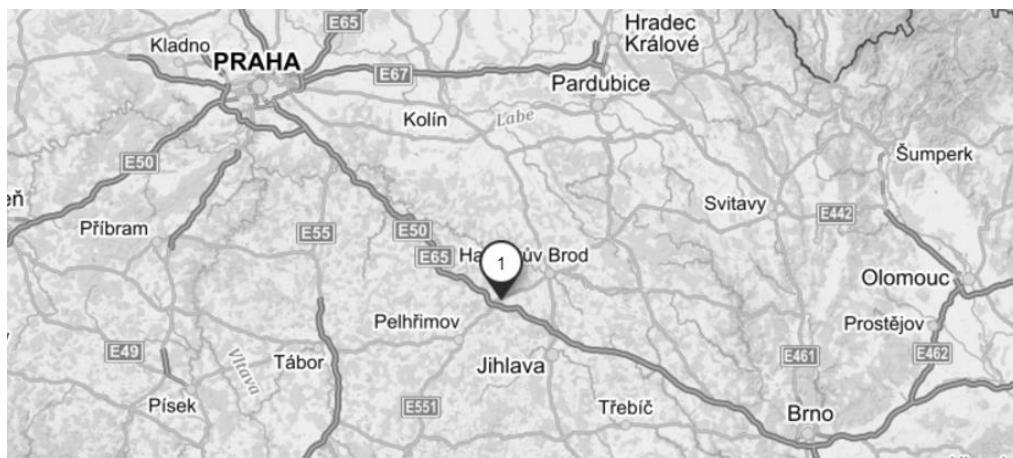
1. Úvod

Diagnostika jízdní dráhy je důležitou součástí údržby železničních i tramvajových tratí a využívá řady měřicích zařízení (měřicí vozy a drezíny, měřicí vozíky a ruční či pojízdné rozchodky). Tento příspěvek se zabývá diagnostikou z pohledu geometrických parametrů koleje s využitím ručních měřicích vozíků. Popisuje srovnávací měření z pohledu opakovatelnosti měření při využití různých generací měřicích vozíků typu KRAB S-Light. Je nutné zdůraznit, že se jedná pouze o prvotní základní analýzu dat, přičemž detailní analýza získaných dat bude předmětem dalšího výzkumu.

Prvotní myšlenka srovnávacího měření se setkala s příznivou odezvou ze stran dalších uživatelů zmíněného zařízení. Díky vzájemné spolupráci bylo možné srovnávací měření realizovat.

2. Volba lokality

Pro srovnávací měření bylo žádoucí zvolit takový měřicí úsek, který by měl rozmanité směrové vedení - tedy obsahoval směrové oblouky, ale i část přímou, a zároveň vykazoval nepříznivý stav geometrie koleje, neboť přítomnost defektů na koleji přispívá k různorodějšímu průběhu měřených parametrů. Dalším požadavkem byla i přítomnost železničního přejezdu, poblíž kterého by byla měřicí základna, kde by probíhaly přípravy na měření, a kde by došlo k nasazení měřicích vozíků na kolej. Z hlediska bezpečnosti bylo nanejvýš vhodné měřit v úseku, ve kterém byla buď plánovaná výluka, nebo zvolená trať nebyla zatížena pravidelným intenzivním pojezdem drážních vozidel. Zvolena byla lokalita v okrese Pelhřimov, poblíž obce Vilémov (viz obr. 1).



Obr. 1 - Lokalita měření [zdroj: Mapy.cz]

2.1. Popis měřicího úseku

Měřicí úsek byl zvolen na jednokolejně regionální trati č. 237 Humpolec - Havlíčkův Brod, jež je pojížděna maximální rychlostí 50 km/h, a tudíž dle ČSN EN 73 6360-2 [1] spadá do rychlostního pásma RPO. Vybraný měřicí úsek leží ve staničení 22,1 - 23,6 km a má celkovou délku 1,5 km. Na obou jeho koncích se vyskytuje železniční přejezd - P3803 a P3805. Zhruba ve středu úseku se pak vyskytuje přejezd s označením P3804. Začátek úseku byl předsazen před přejezd P3803 o cca 150 m z důvodu využití přímé koleje.

Dotčený měřicí úsek se skládá z přímé koleje a tří směrových oblouků (poloměrem do 500 m) a svým tvarem může připomínat obrácené zaoblené "w". První levostranný oblouk přechází v oblouk pravostranný a opět navazuje oblouk levostranný. Vyznačený měřicí úsek lze vidět na obr. 2.



Obr. 2 - Měřicí úsek [zdroj: Mapy.cz]

V první části měřicího úseku je kolej řešena jako bezстыková, ale cca ve staničení 23,052500 km přechází v kolej bezстыkovou.

3. Použité vybavení

Měření probíhalo s ručními měřicími vozíky typu KRAB S-Light od české firmy Komerční železniční výzkum, spol. s r.o. Jedná se o typy vozíku KRAB, které jsou vyrobeny s vylehčenou konstrukcí o nízké hmotnosti a s důrazem na snadnou manipulaci. Nicméně rychlost měření je omezena na 15 km/h. [2] Nastavení vozíku probíhá prostřednictvím dodaného mobilního telefonu, v němž je instalován ovládací software

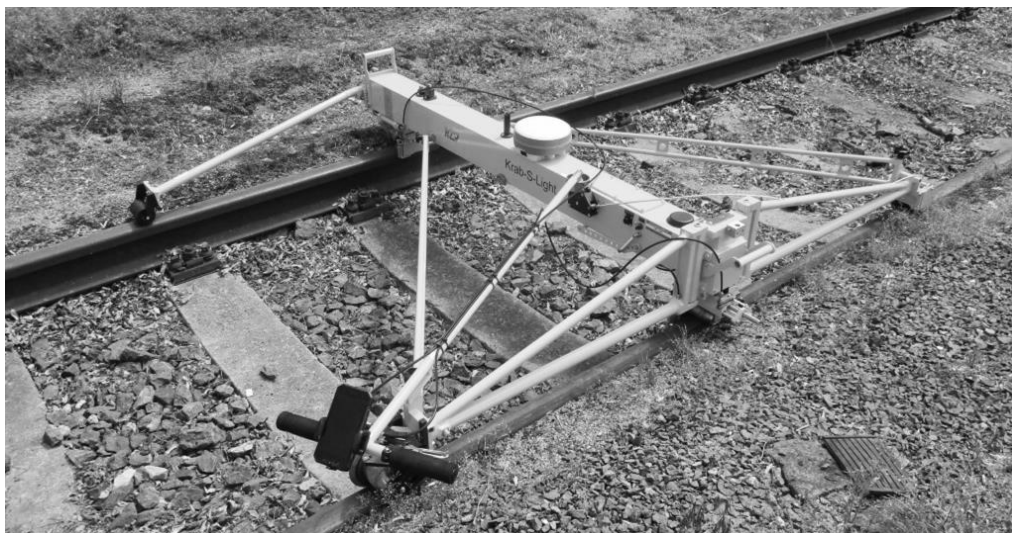
KrabDroid, a který s daným vozíkem tvoří měřicí komplet. Příklad jednoho z modelů lze vidět na obr. 3.

Ruční měřicí vozík KRAB je zařízení, které měří geometrické parametry koleje bez zatížení a je vybaveno kontaktním snímáním všech základních veličin geometrie koleje. Parametry rozchodu, převýšení a zborcení koleje (konstrukční uspořádání koleje) jsou hodnoceny přímo jako odchylky od předepsané či projektované hodnoty. Avšak při měření veličin geometrického uspořádání koleje (směr a podélná výška koleje) zařízení využívá asymetrické tříbodové tětivy a měří je jako vzepětí. Tyto výsledky jsou posléze přepočítávány na tzv. skutečnou geometrii a jsou hodnoceny jako odchylky relativní, které nelze přímo vztahovat k hodnotám předepsaným. Metodika měření ručním měřicím vozíkem KRAB a způsobu vyhodnocování měřených veličin je blíže popsána v předpise SŽDC SR103/8(S). [3]

Pro srovnávací měření bylo k dispozici celkem pět vozíků KRAB S-Light. Nejednalo se o totožné modely, ale o různé generace vývoje s různým datem výroby. Pro přehlednost byly vozíky označeny písmeny A-E dle data výroby:

- Vozík A 2010
- Vozík B 2013
- Vozík C 2015
- Vozík D 2018
- Vozík E 2019.

Jelikož se článek zabývá pouze prvotní analýzou dat, jsou ponechány jednotlivé modely bez detailnějšího přiřazení k jejich majitelům/uživatelům.



Obr. 3 - KRAB S-Light [2]

4. Metodika měření

4.1 Strategie a příprava měření

Stanoveným záměrem bylo vybraný měřicí úsek změřit všemi dostupnými měřicími vozíky za stejných okrajových podmínek a následné porovnání změřených dat. V rámci příprav byla provedena pochůzka vybraného úseku, kde se účastníci seznámili s charakterem trati a kde došlo k vytipování a vyznačení důležitých bodů, které byly posléze zaznamenávány do měřicích zařízení. Rovněž byla definována shodná metodika měření a byl stanoven časový plán měření pro zajištění bezpečného průjezdu vozíků dotčeným úsekem bez další přítomnosti pravidelných dopravních spojů.

Po nasazení vozíků na kolej byl překontrolován stav a čistota jejich koleček a jízdní dráhy, aby vlivem neodstraněných nečistot nebylo ovlivněno měření a data nebyla zkreslena. Před zahájením samotného měření byla u všech vozíků v přímé části úseku provedena autokalibrace.

4.2 Průběh měření

Měření bylo realizováno se všemi vozíky postavenými ve správné poloze a s nastaveným počátečním staničením ve stejném bodě. Měřicí krok byl stanoven na standardní hodnotu 0,25 m.

Jednotlivé vozíky byly seřazeny do řady a celé měření proběhlo hromadně v rámci jednoho pojezdu celé skupiny. Na konci úseku byly vozíky otočeny opět do správné polohy a měření proběhlo znovu v opačném směru. Do záznamových zařízení (mobilních telefonů) byly v průběhu obou měření zaznamenávány veškeré události, resp. charakteristické body - začátek a konec úseku, kolejnicové styky, hektometrovníky, přejezdy, apod.

5. Vyhodnocení naměřených dat

5.1 Vybrané parametry

Předmětem zpracování dat bylo vzájemné porovnání vybraných geometrických parametrů koleje ze všech pěti nasazených měřicích vozíků KRAB S-Light. Pro vstupní analýzu byla použita data po základním zpracování firemním softwarem Krab10. Dále byly zpracovávány následující parametry:

- RK - rozchod koleje,
- SK_L - směr levého kolejnicového pásu,
- SK_P - směr pravého kolejnicového pásu,
- ZKS - zborcení koleje syntetické,
- VK_L - podélná výška levého kolejnicového pásu,

- VK_P - podélná výška pravého kolejnicového pásu,
- PK - převýšení koleje.

Vzhledem k celkovému rozsahu zpracovávaných dat jsou v tomto článku uvedeny pouze vybrané části - charakteristické příklady.

5.2 Způsob vyhodnocení dat

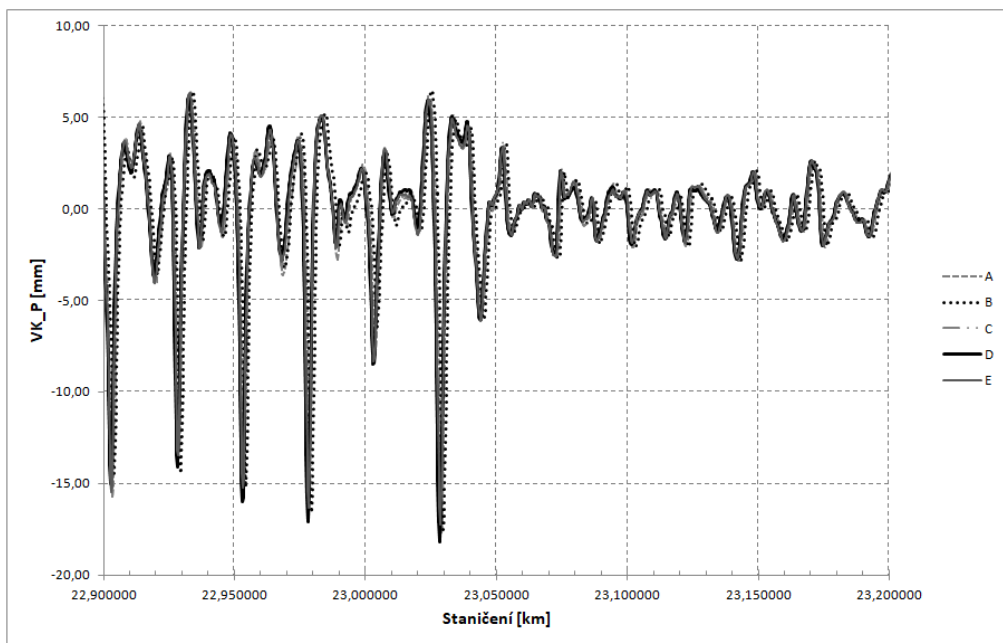
Pro zpracování dat byla použita metodika dle diplomové práce "Posouzení kvality geometrických parametrů koleje ve vybraných úsecích s provozním ověřováním geokompozitu pod kolejovým ložem" [4].

Zpracování proběhlo v těchto základních krocích:

- import dat z měřicího zařízení (mobilního telefonu) do počítače,
- základní zpracování dat v softwaru Krab10,
- export vybraných parametrů do textových souborů,
- import textových souborů do programu Microsoft Excel,
- tvorba grafů a srovnání dat.

5.3 Prvotní srovnání dat

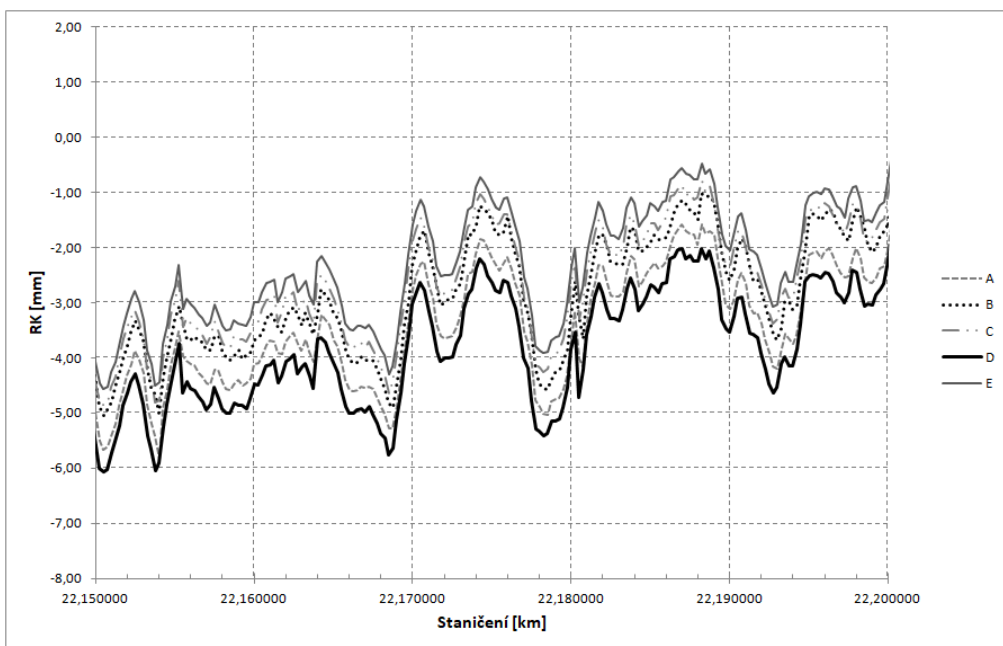
Hodnoty naměřené všemi vozíky vykazují kvalitativně minimální odchylky. Průběh křivek jednotlivých vybraných parametrů je až na několik lokálních anomálií téměř shodný a křivky dobře korelují. Lze konstatovat, že všechny použité vozíky zaznamenaly stav geometrie koleje obdobně. Uvedené tvrzení lze demonstrovat například na obr. 4.



Obr. 4 - Průběh parametru podélné výšky pravého kolejnicového pásu na přechodu stykované a bezstykové koleje

Graf zachycuje průběh podélné výšky pravého kolejnicového pásu v části úseku, kde dochází k přechodu stykované koleje na bezstykovou, konkrétně ve staničení 23,052500 km.

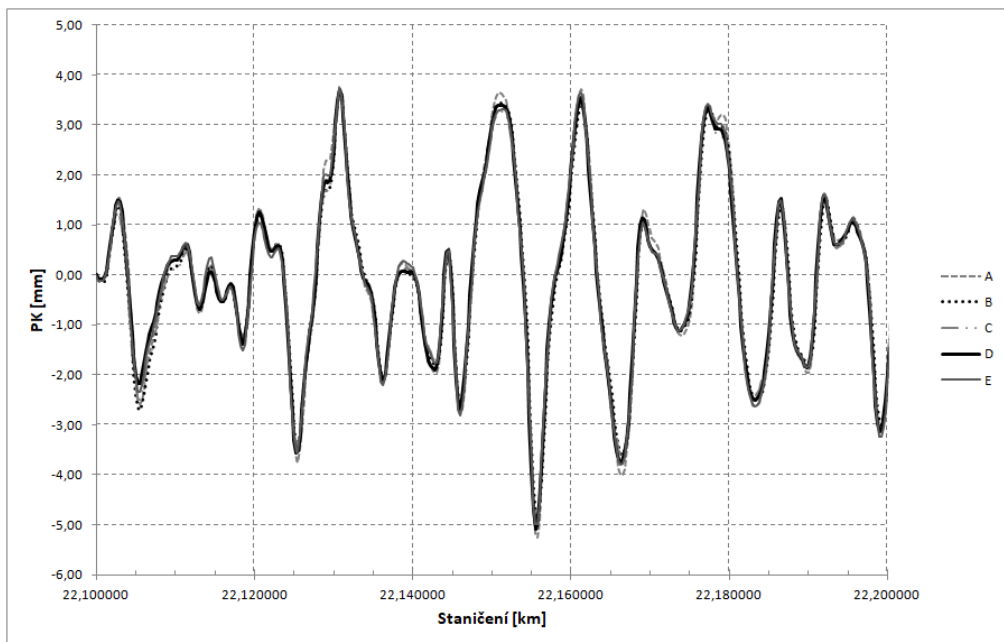
Jako druhý příklad demonstrující průběh naměřených dat byl zvolen základní parametr konstrukčního uspořádání koleje - rozchod koleje. Kvalitativně průběh odpovídá předchozím tvrzením, nicméně jsou zde zjevné rozdíly hodnot naměřených odchylek viz obr. 5.



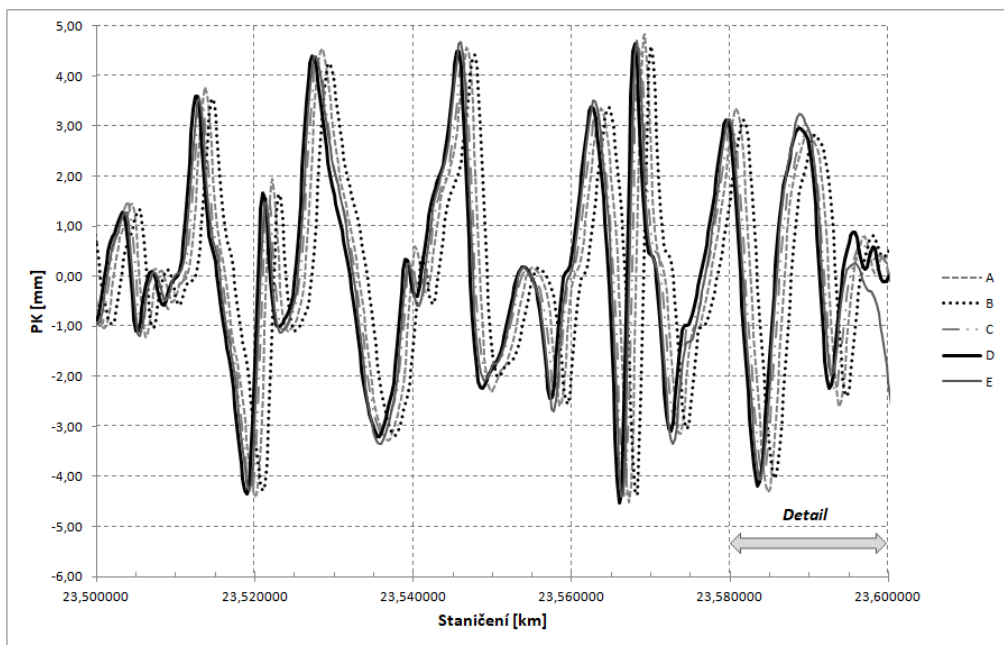
Obr. 5 - Detail průběhu parametru rozchodu koleje

Z grafu vyplývá, že průběh změn rozchodu koleje je u všech vozíků zaznamenán shodně, ale změřená hodnota je u každého vozíku jiná. Je pravděpodobné, že se jedná o systematickou odchylku, která může souviset s nastavením měřicího zařízení. Zjištění příčiny bude předmětem podrobnější analýzy.

Protože měření probíhalo na relativně dlouhém úseku (celková délka 1,5 km), začala se projevovat přesnost odečtu/vyhodnocení měřicího intervalu. Na počátku měřeného úseku vykazovaly průběhy hodnot všech parametrů přesnou synchronizaci, ale s narůstajícím staničením se jednotlivé křivky parametrů začaly vůči sobě posouvat, resp. došlo k postupnému nárůstu vzájemnému "fázového" posunu. Situace je zobrazena na průběhu parametru převýšení koleje na obr. 6 a 7.

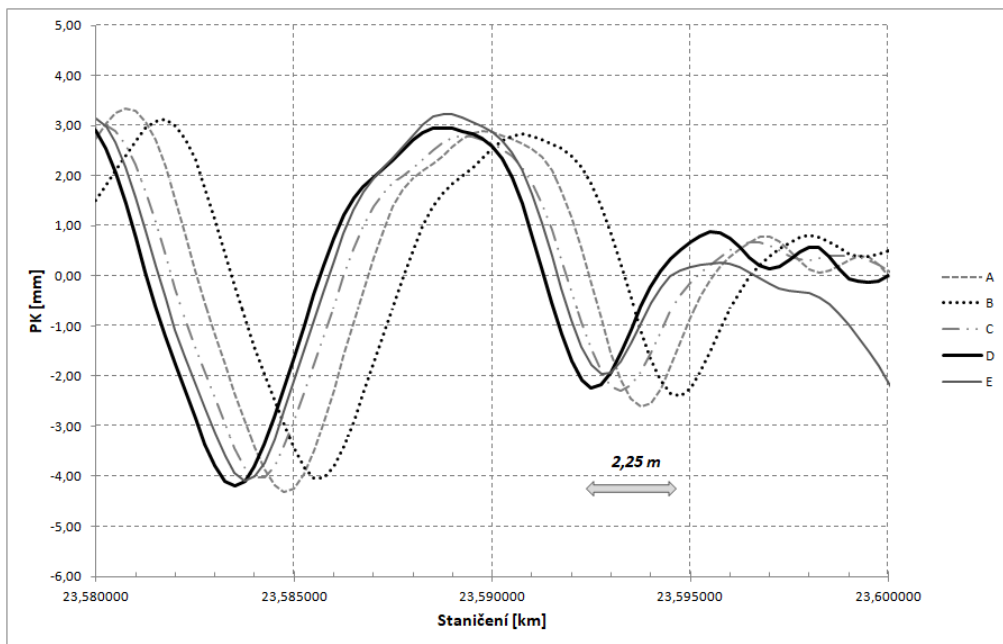


Obr. 6 - Průběh parametru převýšení koleje na prvních 100 m měřeného úseku (22,1 - 22,2 km)



Obr. 7 - Průběh parametru převýšení koleje na posledních 100 m měřeného úseku (23,5 - 23,6 km)

Posun byl vyhodnocován pro všechny sledované parametry. Mezi prvním a posledním vozíkem v pořadí byl posun na konci úseku odečten v délce 2,25 m (viz obr. 8), čemuž odpovídá relativní odchylka 1,5‰. V rámci dalšího zkoumání by bylo vhodné ověřit, zdali dochází u každého realizovaného měření ke stejnému posunu, nebo se jedná o hodnotu proměnnou.



Obr. 8 - Detail posunu parametru převýšení koleje na konci měřeného úseku

6. Závěr

Článek se v první části zabývá volbou a popisem měřicího úseku, popisem použitých měřicích zařízení a metodikou samotného měření. Následně se věnuje způsobu zpracování získaných dat a komentuje výsledky jejich základní analýzy.

Prvotní zpracování měření ukázalo, že průběhy vybraných parametrů ze všech vozíků vzájemně dobře korelují a kvalitativně dobře postihují změny v geometrii koleje. Pouze u rozchodu koleje byl patrný výrazný rozdíl v naměřených hodnotách. Změny rozchodu jsou u všech vozíků zachyceny shodně, ale celkový rozchod u jednotlivých vozíků nabývá rozdílných hodnot. Jak již bylo dříve uvedeno, může se jednat o systematickou odchylku, která může souviset s nastavením toho daného vozíku.

Dalším poznatkem je, že na počátku měřeného úseku vykazují průběhy hodnot všech zkoumaných parametrů přesnou synchronizaci,

nicméně s rostoucím staničením dochází k průběžnému nárůstu posunu jednotlivých křivek vůči sobě. V tomto případě byl vzájemný posun mezi prvním a posledním vozíkem v pořadí zjištěn v rozsahu 1,5‰.

Vyhodnocení naměřených dat dále pokračuje a je zaměřeno na detailnější analýzu jednotlivých geometrických parametrů a objasnění příčin výskytu nalezených anomálií.

Literatura

- [1] ČSN EN 73 6360-2 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba, 10/
- [2] 2009KRAB-S-light. Komerční Železniční Výzkum. [online]. 2019. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://kzv.cz/krab-s-light/>
- [3] Předpis SŽDC SR103/8(S) Komentář ČSN 73 6360 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha, schváleno 22.11.2010, č.j.:55549/10-OTH, účinnost od 1.3.2011
- [4] MAŠKOVÁ, Zuzana. Posouzení kvality geometrických parametrů koleje ve vybraných úsecích s provozním ověřováním geokompozitu pod kolejovým ložem. Praha, 2019. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Fakulta stavební.

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za podpory grantu Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS20/048/OHK1/1T/11. Dík patří i všem účastníkům srovnávacího měření za jejich spolupráci a poskytnutí dat.

Bezpečnostní analýza nádražního uzlu

Ing. Petra Okřinová¹, Ing. Ondřej Pilný²

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,

Veveří 331/95, 602 00 Brno-střed,

e-mail_1: okrinova.p@fce.vutbr.cz

e-mail_2: Ondrej.Pilny@vutbr.cz

Abstrakt

Příspěvek analyzuje proces evakuace a vliv na jeho výkon za vzniku krizové situace v odbavovací hale železničního uzlu v Praze. Jedná se o stavbu s třemi nadzemními a jedním podzemím podlažím (užívané veřejností) s přímou návazností stanice metra. Evakuační proces je simulován pomocí softwarového nástroje Pathfinder. Pro tuto stavbu byly simulovány dva scénáře prosté evakuace a pět krizových scénářů. Každý scénář je simulován ve variantě 1 000 až 10 000 osob s krokem 1 000 osob a pro každou variantu je provedeno 30 simulací, které jsou následně statisticky vyhodnoceny. V rámci analýzy byla sledována efektivita vyklizení budovy, davové jevy a tyto čtyři metriky: evakuační čas, maximální dosažená hustota, maximální čas k únikovému východu a maximální doba obsazenosti - pro tento příspěvek jsou uvedeny pouze vybrané výsledky.

Klíčová slova

Evakuace, železniční uzel, numerická model, bezpečnost.

Safety analysis of the railway junction

Abstract

The paper analyzes the evacuation process and the impact on its performance during the crisis situation in the check-in hall of the railway junction in Prague. It is a building with three above-ground and one underground floor (used by the public) with a direct connection to the metro station. The evacuation process is simulated using the Pathfinder software tool. Two simple evacuation scenarios and five crisis scenarios were simulated for this construction. Each scenario is simulated in a variant of 1,000 to 10,000 people with a step of 1,000 people, and 30 simulations are performed for each variant, which are then statistically evaluated. The analysis monitored the efficiency of building evacuation, crowd phenomena and the following four metrics: evacuation time,

maximum density reached, maximum time to escape exit and maximum occupancy time.

Keywords

Evacuation, railway junction, numerical model, safety.

1. Úvod

Každý den jsou budovy velkých dopravních uzlů využívány k odbavování několika tisíců až desetitisíců cestujících při jejich běžných cestách za prací. Jedná se o budovy s velkou koncentrací lidí a velmi často s nízkým stupněm ochrany, označované pojmem „měkké cíle“. Tyto typy budov se stávají potenciálně snadnými cíli teroristického útoku, nebo skrze masu lidí velmi kritickým místem při vzniku jakékoliv mimořádné události.

Dopravní uzly jsou specifické stavby s odbavovacími halami s velkým počtem cestujících. Disponují rozsáhlými a často i složitými uzavřenými dispozicemi, které vyúsťují k dlouhým evakuačním vzdálenostem, jenž musejí ohrožené osoby při vzniku krizové události překonávat. V případě vzniku takové krizové situace, jako je například požár, teroristický útok (v podobě osamoceného zavazadla s bombou, osamělého střelce, nebo požáru), dochází velmi často k zatarasení nebo vyřazení z provozu některých evakuačních východů. Krizové situace jsou velkým nebezpečím, ne pouze bezprostředně ohrožením z pohledu výbuchu, požáru, útočnicka apod., ale v podobě davové evakuace, která může vést k četným zraněním, nebo dokonce až k usmrcení osob. Proces plánování evakuace z tohoto typu staveb, není jen jednou z klíčových součástí strategie reakce na mimořádné situace, ale také důrazem na veřejnou bezpečnost. Toto téma je velmi ožehavým problémem v domácí i zahraniční inženýrské praxi.

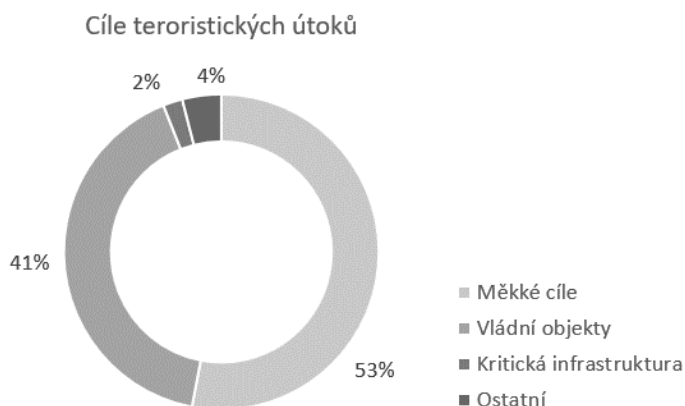
V rámci České legislativy a normového přístupu se opíráme při navrhování bezpečnostních opatření budov, i u těch drážních, zejména o normový kodex „Požární bezpečnost staveb“ (ČSN 73 08XX), který je v modifikovaných podobách užíván již od roku 1975 pro navrhování staveb obecně. Tento přístup uvažuje pouze s obecnou variantou evakuace, kde je zajištěna přístupnost všech evakuačních východů, rovnoměrné rozednění osob, konstantní rychlosti osob bez interakce navzájem a bez ohledu na aktuální dění ve smyslu překážek apod. Příkladem reálné evakuace z železničního uzlu v České republice může být i nedávná událost z 26. července 2020, kde došlo k požáru obchodní jednotky v budově Hlavního nádraží v Praze. Při tomto požáru byla zastavena vlaková doprava, metro C pouze stanicí projíždělo a za pomoci IZS bylo evakuováno odhadem přes 500 osob. Počet osob byl velmi nízký

na běžné provozní poměry této budovy, a to díky načasování – neděle a odpolední čas mimo špičku. Díky tomu se také samotná evakuace obešla bez zranění a ztrát na životech.

2. Měkké cíle a kritická infrastruktura

2.1. Měkké cíle

Přestože neexistuje přesná a zavedená definice měkkého cíle, dal by se definovat jako místo s vysokou koncentrací osob a současně s nízkou úrovní zabezpečení proti propuknutí mimořádné situace útokům. Právě pro tuto kombinaci vlastností jsou tato místa (měkké cíle) častým cílem útočníku/napadení. Orientační statistika teroristických útoků v Evropě v letech 1998–2014 je uvedena viz Obr. 1, přičemž útoky na měkké cíle představují v tomto přehledu více než polovinu všech incidentů [1]. Měkké cíle se takto zásadně liší od tzv. tvrdých cílů, kterými jsou dobře chráněné a střežené objekty, spadající pod vybrané složky státu, armádu, či některé nestátní objekty.



Obr. 1 - Statistika teroristických útoků, dle typů objektů v EU v letech 1998–2014 [1].

Bezprostřední reakcí byla diskuze v rámci EU o nezbytnosti přijmout konkrétní preventivní opatření i v oblasti dopravy. Byl schválen vznik společné databáze incidentů v pozemní dopravě na unijní úrovni, která by usnadnila vývoj celého procesu zlepšování bezpečnosti. Cílem bezpečnostního návrhu je redukovat riziko proporcionálními a efektivními opatření na nejnižší možnou úroveň, ale současně při plném zachování přístupnosti a funkčnosti dopravy s tím, že je potřeba najít efektivní řešení koordinace bezpečnostních plánů zejména u multimodálních terminálů pro cestující.

V případě České republiky platí, že měkkých cílů je velké množství, dopravní sektor nevyjímaje. To silně limituje praktické možnosti jejich zabezpečení pouze ze strany státu, resp. veřejné správy a zvyšuje význam bezpečnostních opatření přijímaných samotnými měkkými cíli. Řada měkkých cílů navíc dokáže svoji bezpečnost zajistit nejlépe – má k tomu více nástrojů, lepší znalost prostředí i osob vyskytujících se v daném místě a často i více finančních prostředků, než je schopen okamžitě vyčlenit stát.

2.2. Kritická infrastruktura

Kritickou infrastrukturou se dle zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon) rozumí prvek kritické infrastruktury nebo systém prvků kritické infrastruktury, jehož narušení by mělo závažný dopad na bezpečnost státu, zabezpečení základních životních potřeb obyvatelstva, zdraví osob nebo ekonomiku státu. Subjekty kritické infrastruktury, které tyto prvky provozují, odpovídají za ochranu prvku kritické infrastruktury a za tímto účelem zpracovávají plán krizové připravenosti subjektu.

Z povahy věci vyplývá, že v naprosté většině případů není prvek kritické infrastruktury současně měkkým cílem, protože požadavky kladené na tyto prvky často předpokládají jejich velmi dobrou fyzickou ochranu (např. elektrárny), a současně se až na výjimky nejedná o místa s vysokou koncentrací osob.

Uvedenou výjimku představují právě některé infrastrukturní prvky v dopravě. Pokud bychom chtěli identifikovat kritické prvky dopravní infrastruktury, budeme postupovat podle nařízení vlády č. 432/2010 Sb., o kritériích pro určení prvku kritické infrastruktury. Pro jejich stanovení jsou v nařízení vlády stanovena v § 1 průřezová kritéria a v § 2 odvětvová kritéria.

Průřezová kritéria předpokládají, že narušení prvku bude mít některý z těchto dopadů:

- více než 250 mrtvých nebo více než 2 500 hospitalizovaných osob déle než 24 hodin,
- ekonomický dopad přesahující 0,5 % HDP,
- omezení poskytování nezbytných služeb nebo jiného závažného zásahu do každodenního života postihujícího více než 125 000 osob.

Odvětvová kritéria v sektoru dopravy jsou přirozeně mnohem komplexnější a jejich podrobný rozbor přesahuje možnosti tohoto textu. Přesto lze zjednodušeně říci, že v případě železniční dopravy mluvíme o celostátních drahách bez odpovídajících odklonových tras, včetně systému řízení železničního provozu jako celku.

Je zřejmé, že zejména významné železniční uzly by mohly být považovány současně za měkký cíl a prvek kritické infrastruktury, jelikož útok na tento měkký cíl, kromě psychologického dopadu, může způsobit rovněž velmi vážné hospodářské škody a omezit poskytování nezbytných služeb obyvatelstvu v širokém rozsahu a po značnou dobu. Proto je nutné v budoucnu přehodnotit kritéria hodnocení a zařazení těchto objektů. V nastávajícím procesu zvyšování odolnosti měkkých cílů v dopravním sektoru by měly mít tyto objekty naprostou prioritu.

3. Případová studie železničního uzlu

Předmětem posouzení je budova nové odbavovací haly Hlavního vlakového nádraží v Praze s jedním nadzemním a třemi podzemními podlažími, které jsou přístupné veřejnosti. Primárním účelem této stavby je odbavení a přestup cestujících jednotlivých dopravců.

Hlavním záměrem studie je ověření průběhu evakuace za jiných než standardních situací, kdy nejsou dostupné všechny evakuační východy. Mezi tyto situace může patřit například odložené zavazadlo (potenciálně výbušné zařízení), ozbrojený útok, nebo požár v místě únikového východu. Jednotlivé situace jsou řešeny parametricky pro různou obsazenost nádraží (1 000 – 10 000 osob) a v několika opakováních, aby bylo možné provést statistické vyhodnocení evakuačních časů. Parametry agentů (tzv. „digitální reprezentace osob“) jsou čerpány z odborné zahraniční literatury [5], [6], [7] a jejich výchozí pozice je volena náhodně. Pro každé opakování jsou tyto vstupní hodnoty opětovně generovány na základě pravděpodobnostní funkce. Výsledky modelu jsou platné pro zvolené vstupní parametry a okrajové podmínky, které byly stanoveny na základě dodaných podkladů, odborné literatury a možnostech použitého nástroje.

3.1 Model

Model byl vytvořen v softwaru Pathfinder z kanadské produkce firmy Thunderhead Engineering, který využívá technologii agentního modelování ve spojitém prostoru a diskrétních časových krocích. Agenti mohou interagovat jak mezi sebou navzájem, tak i v rámci modelovaného prostoru či v návaznosti na vzniklou událost a mění si se situací.

Agentům je možné definovat celou škálu vstupních parametrů, kterými lze popsat jejich podstatu a chování. Tyto parametry mohou být definovány jako konstantní (neměnné) nebo pravděpodobnostní. Základními parametry pro definování agenta, mohou být např. rychlost pohybu, reakční doba, velikost těla, priorita, určitá role (běžná osoba, řídicí pracovník, hasič) apod.

Model – populace

Termín populace označuje obsazení modelu agenty, kteří reprezentují reálné chování lidí ve stanici. Agenti jsou definováni řadou parametrů, kde mezi ty nejdůležitější patří obsazenost budovy, složení davu a doba před pohybem.

Obsazení modelu primárně vychází z podkladů pro PBŘ (požárně bezpečnostní řešení), kde je uvedena hodnota cca 6 000 osob (včetně komerčních prostor a metra) a dále je model doplněn o další reálné stavy v rozmezí 1 000 až 10 000 osob. Tímto variantním řešením jsou tak pokryty všechny relevantní stavy obsazenosti, které odrážejí jak denní, tak týdenní a případně i roční variace. Agenti nejsou v ploše nádraží rozmístěni rovnoměrně, ale s hustotou 0-2 osoby.m⁻² a dle reálných zkušeností zadavatele s vytížením jednotlivých částí stanice (koncentrace osob na čekacích plochách, fronty na prodej lístku apod.).

Při volbě složení populace pro tento model bylo čerpáno ze studie [8], kde je stanoveno pro veřejné prostory věkové rozdělení 70 % dospělí, 20 % mládež a 10 % senioři. Tyto kategorie se liší zejména v rychlosti pohybu, která je pro každého agenta určena individuálně na základě normálního rozdělení, jehož parametry jsou uvedeny v Tab. .

Tab. 1 Rychlost pohybu osob [8] [9] [10]

Rychlost pohybu, parametry normálního rozdělení [m.s ⁻¹]				
Skupina	Střední hodnota	Směrodatná odchylka	5 % kvantil	95 % kvantil
Dospělí	1,48	0,30	0,97	0,97
Mládež	1,60	0,30	1,15	2,09
Senioři	1,07	0,20	0,75	1,40

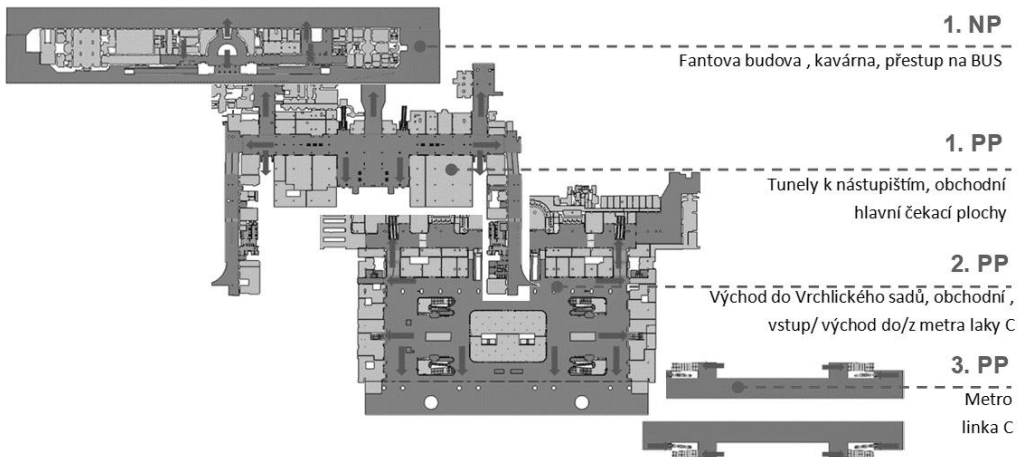
Dobu, kterou potřebují agenti, aby zareagovali na výzvu k evakuaci a zahájili ji, nazýváme jako dobu před pohybem. Jelikož nebyl uskutečněn evakuační test v posuzované budově, nejsou k dispozici ani evakuační data. Proto se i v tomto případě opíráme při čerpání znalostí o odborné studii ze zahraniční literatury [8], [9] a [10], na jejichž základě bylo sestaveno rozdělení, které integruje dílčí poznatky z výše uvedených. Klíčové je zachování log-normálního rozdělení, které odpovídá dostupným empirickým poznatkům. Výsledné rozdělení má parametry $\mu = 4$ a $\sigma = 0,5$. Střední hodnota doby před pohybem je pak přibližně 60 s se směrodatnou odchylkou přibližně 30 s. Jako limitní hodnoty maxima a minima byly použity přibližné hodnoty 5 % a 95 % kvantilu, tedy 20 s a 120 s.

Model – geometrie

Rozsah modelovaného veřejného prostoru je zachycen obr. 2, kde jsou znázorněny jednotlivé plochy zájmu: tmavě šedá – čekací plochy

a koridory, žlutě – vybavenost (obchody, zázemí pro návštěvníky), fialově – úschovna a mobilní stánky, zeleně zázemí metra a červeně – výtahy.

Rychlost krátkých eskalátorů a pohyblivých pásů byla v rámci geometrie modelu nastavena na hodnotu $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Eskalátory dlouhé – ústící z metra pak mají rychlost $0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 2 - Schéma veřejných částí budovy Hlavního nádraží v Praze

3.2 Modelované scénáře

V rámci modelu je uvažováno s nejkritičtějšími scénáři reprezentujícími zvolené mimořádné události. Modely disponují se základními předpoklady, že se osoby nacházejí uvnitř budovy, kde současně dochází ke vzniku nebezpečí (požár, útočník, bomba apod.) v různých variacích rozmístění a s tím i následně spojené zatarasení některých únikových cest. Výchozím scénářem je prostá evakuace, kdy jsou dostupné všechny evakuační východy. Součástí všech scénářů je i evakuace prostorů metra, která je zahájena zároveň s evakuací budovy hlavního nádraží. Model zkoumaného objektu je modelován v následujících sedmi variantách scénářů:

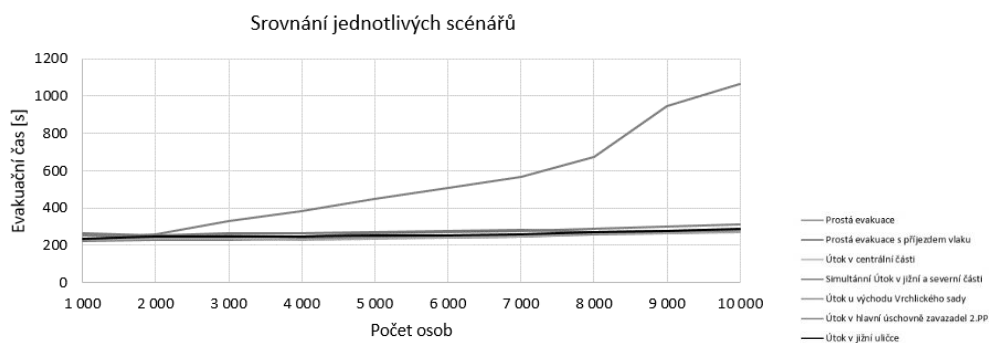
- **Prostá evakuace** – dostupné všechny východy.
- **Prostá evakuace s příjezdem vlaků** – dostupné všechny východy, po 20 s příliv osob z tunelů od nástupišt do protisměru právě probíhající evakuace v intenzitách 3, 4, 5 a 6 osob. s^{-1} po dobu 30 s, což odpovídá celkem 270, 360, 450 a 540 osobám.
- **Útok v centrální části** – zablokování centrálního tunelu v 1. PP a čtveřice eskalátorů do Fantovy budovy.
- **Simultánní útok v jižní a severní části** – zablokování severních a jižních křídel (ÚC) v 1. PP.

- **Útok u východu Vrchlického sady** – zatarasení všech východů do Vrchlického sadů v 2. PP.
- **Útok v hlavní úschovně zavazadel** – zablokování ÚC v severní části 2. PP – tunel boční i CHÚC.
- **Útok v jižní uličce** – zablokování ÚC v centrální části i jižním rameni 1. PP.

4. Vybrané výstupy

Základním výstupem modelu je evakuační čas (celkový nebo z dílčí oblasti) a mezi další výstupy patří zejména tzv. „heat-mapy“ hustot, rychlostí, úrovně kvality dopravy atd. V neposlední řadě lze vytvářet 3D video výstupy pohybu osob. Klíčovou výhodou použití simulačních nástrojů je možnost statistického zpracování výsledků několika desítek nebo až stovek stejných simulací s náhodným distribuováním klíčových parametrů a počáteční polohou osob, zatímco evakuační experiment je možné provádět v porovnání pouze s malým počtem opakování. Snadná je rovněž citlivostní analýza výsledků. Komplexní zhodnocení všech modelovaných kombinací přesahuje možnosti tohoto textu, a proto byly pro další analýzu popsány pouze vybrané výsledky.

Simulované scénáře potvrzují, že u většiny uvažovaných scénářů mimořádných událostí je možné novou odbavovací halu evakuovat rychlostí, která se blíží evakuaci za standardních podmínek, tedy při dostupnosti všech evakuačních východů (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**).

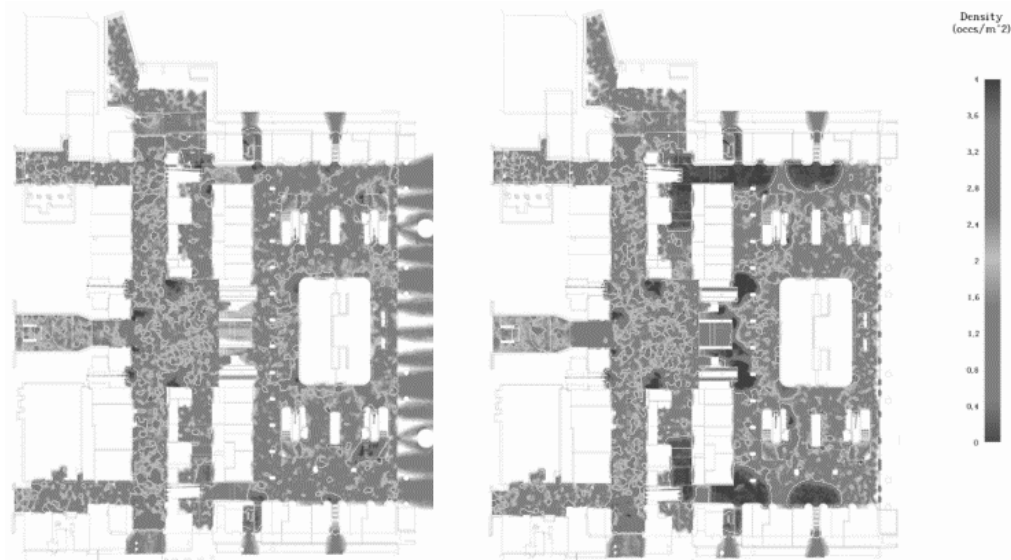


Obr. 3 - Srovnání závislosti evakuačního času na počtu osob pro jednotlivé scénáře

Významný problém nastává v situaci, kdy není možné evakuovat ve směru Vrchlického sady, tedy kdy se v případě vypuknutí mimořádné situace doba evakuace několikanásobně prodlouží, než je tomu při standardní evakuaci. Dojde rovněž k vytvoření dlouhotrvajících kongescí v řádu desítek minut s vysokou hustotou osob a současně s vysoce

stresující situací, při kterém se zvyšuje riziko vzniku zranění nebo úmrtí. Další omezení evakuačních východů (např. severní a jižní chráněné únikové cesty nebo schodiště) by v této variantě znamenalo dramatické zhoršení kongescí a stresových situací a ve svém důsledku až úplnému znemožnění evakuace.

V ostatních scénářích dochází k lokální tvorbě kongescí, které jsou však časově omezené v řádu jednotek minut nebo i desítek sekund a riziko zranění nebo stresových situací je relativně nízké. Názorněji pro porovnání viz Obr. 4, kde je zachyceno srovnání situace scénářů – „Prostá evakuace“ a „Útok u východu Vrchlického sady“ ve stejném čase pro obsazenost objektu 10 000 osob.



Obr. 4 - Porovnání scénářů – Prostá evakuace a Útok u východu Vrchlického sady s maximálním obsazenosti 10 000 osob.

4. Závěr

Využití numerických mikroskopických modelů umožňuje zohlednit bezpočet různých krizových scénářů s celou řadou proměnných oproti klasickému normovému posouzení, což nás mnohdy může upozornit na možná bezpečnostní pochybení.

Aplikace numerických modelů pomáhá nalézt možná řešení uspořádání dopravních uzlů v průběhu návrhové fáze, ověřuje podmínky a bezpečnost pěších při evakuaci a v návaznosti na to je možná individuální tvorba krizových plánů a návrh bezpečnostních opatření. Pomocí numerických modelů, jak dokládá tato práce, lze analyzovat bezpečnost jednotlivých budov, jejich geometrii, identifikovat kritická místa, která jsou nedostatečná z kapacitních či jiných důvodů a předejít

tak sekundárním problémům (zranění, usmrcení) při samotné evakuaci osob.

Celkově je třeba si při návrhu ochranných bezpečnostních opatření uvědomit, že je nutné, až nezbytné, se zaměřit zejména na omezení následků mimořádných incidentů a sekundárních procesů, jako je například evakuace, nežli pouze na preventivní bezpečnostní opatření proti nim, jak tomu často bývá.

Literatura

- [1] Global Terrorism Database, University of Maryland. Dostupné online: <https://www.start.umd.edu/gtd/>
- [2] Kobes, M.; Helsloot, I.; de Vries, B.; aj.: Building Safety and Human Behaviour in Fire: A Literature Review. *Fire Safety Journal*, ročník 45, 2010: s. 141.
- [3] Lovreglio, R.; Ronchi, E.; Nilsson, D.: A Model of the Decision-Making Process During Pre-Evacuation. *Fire Safety Journal*, ročník 78, 2015: s. 168-179.
- [4] APELTAUER, T.; APELTAUER, J.; OKŘINOVÁ, P.; DUFEK, Z. *Využití simulačních nástrojů při ochraně měkkých cílů dopravní infrastruktury*. Litomyšl: Agentura VIACO, 2018. s. 107-112.
- [5] Weidmann, U.: *Transporttechnik der Fußgänger*. Technická zpráva, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, 1993.
- [6] Still, G. K.: *Crowd Dynamics*. Dizertační práce, University of Warwick, Department of Mathematics, 2000.
- [7] Fruin, J. J.: *Pedestrian Planning and Design*. Elevator World, Inc., 1971.
- [8] Schröder, B.: *Multivariate Methods for Life Safety Analysis in Case of Fire*, 2017.
- [9] Galea, E. R., Deere, S. J., Hopkin, C. G.: *A study of response behaviour in a Theatre during a live performance*, 2015.
- [10] Ruggiero, L., Erica D. K.: *Corrigendum to "A Pre-Evacuation Database for Use in Egress Simulations"*, Jedná se o opravu článku: *A Pre-Evacuation Database for Use in Egress Simulations*, 2019.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory interního projektu Vysokého učení technického v Brně s registračním číslem FAST-J-20-6275.

Prvotní výsledky měření Rayleighova vlnění v lokalitě Horusických blat

Ing. Michal Petýrek¹, Ing. Leoš Horníček, Ph.D.²

Fakulta stavební ČVUT v Praze

Thákurova 7/2077, 166 29, Praha 6 - Dejvice

e-mail_1: michal.petyrek@fsv.cvut.cz,

e-mail_2: leos.hornicek@fsv.cvut.cz

Abstrakt

Tento článek se zabývá prezentací prvotních výsledků z měření odezvy železničního náspu a přilehlého okolí ve zvoleném profilu železniční tratě na 4. železničním koridoru na vibrace generované jedoucími vlaky s maximální rychlostí do 160 km/h pomocí geofonů. Vyhodnocovány byly maximální kladné a záporné svislé výchylky. Měření slouží jako studie pro výzkum Rayleighova vlnění a jeho vliv na návrh železničního spodku plánovaných vysokorychlostních tratí v České republice. Pro měření byla vybrána lokalita, jejíž podloží je tvořeno zeminami s nízkou únosností – jíly a rašelinou. Cílem článku je prezentovat poznatky z prvních dvou měřicích kampaní, které se uskutečnily v květnu a v červenci 2020.

Klíčová slova

Rayleighovo vlnění, vysokorychlostní trať, měření in-situ, geofon

Inceptive results of measurements of Rayleigh waves in the Horusicka blata locality

Abstract

This paper deals with the presentation of inceptive results from the measurement of the response of the railway embankment and subsoil in the surroundings of the railway line to vibrations generated by passing trains with a maximum speed of up to 160 km/h using geophones. The maximum positive and negative vertical deflections were evaluated. The measurements serve as a study for the research of Rayleigh waves and its influence on the design of the railway substructure of planned high-speed lines in the Czech Republic. A locality for the measurement was selected with the poor subsoil formed by soils with low bearing capacity

- clays and peat. The aim of the article is to present findings from two measuring campaigns performed in May and July 2020.

Keywords

Rayleigh waves, high-speed line, in-situ measurement, geophone

1. Úvod

V souvislosti s připravovanou výstavbou vysokorychlostních tratí v České republice je potřeba řešit nové technické problémy, které jsou specifické pro jízdu vlaku vysokými rychlostmi. Mezi ně patří odezva podloží železniční tratě na vibrace generované jedoucími vlakovými soupravami.

Vibrace vybuzené jízdou vlaku se šíří přes konstrukci železničního svršku a spodku do podloží a podložím dále do okolí železniční tratě. Vibrace se do okolí šíří prostřednictvím tlakových vln, smykových vln a povrchových vln – Rayleighových vln. U všech typů vln klesá se vrůstající vzdáleností od zdroje jejich energie, což souvisí s útlumem zemního prostředí, jímž se šíří. Z hlediska celkové energie přenášené vlněním je přibližně 67 % přenášeno Rayleighovými vlnami, 26 % smykovými vlnami a 7 % tlakovými vlnami. Z tohoto porovnání plyne, že z hlediska přenášené energie jsou Rayleighovy vlny nejvýznamnější [1].

Pokud rychlost jízdy vlaku dosáhne mezní rychlosti, kterou se šíří povrchové seismické vlny danou zeminou, dochází k rezonanci a několikanásobnému zvětšení amplitudy povrchových vln. Tato mezní rychlost šíření povrchových seismických vln bývá též označována jako kritická rychlost zemin. Odezva může vyústit v poškození konstrukcí v okolí železniční tratě, například stožárů trakčního vedení nebo v krajních situacích dokonce až ve vykolejení vlaku [1]. Jedním ze závěrů technicko-provozní studie "Technická řešení VRT" [2], kterou zpracoval SUDOP Praha v roce 2017, je doporučení se v podmínkách České republiky touto problematikou podrobněji zabývat.

Kritická rychlost se u měkkých jílovitých zemin pohybuje v rozsahu 200–300 km/h, u velmi tuhých podložních zemin 600 km/h a více, v případě hornin se pohybuje v řádu prvních tisíců kilometrů za hodinu. Naopak při kombinaci velmi nepříznivých podmínek může být i nižší než 200 km/h. Se snižující tuhostí zemin klesá i její kritická rychlost. Jako neproblematičtější se z hlediska potenciálních negativních projevů jeví místa s vrstvami jemnozrnných zemin s vysokou plasticitou o velké mocnosti, tedy s nízkou kritickou rychlostí, blízkou nebo nižší, než je předpokládaná rychlost jízdy vysokorychlostních vlaků. Konkrétně jde o hlíny typu MH, MV, ME a jíly typu CH, CV a CE [1].

Tento článek představuje prvotní výsledky měření, která byla provedena na provozované železniční trati v lokalitě s výskytem jílovitého souvrství v jejím podloží.

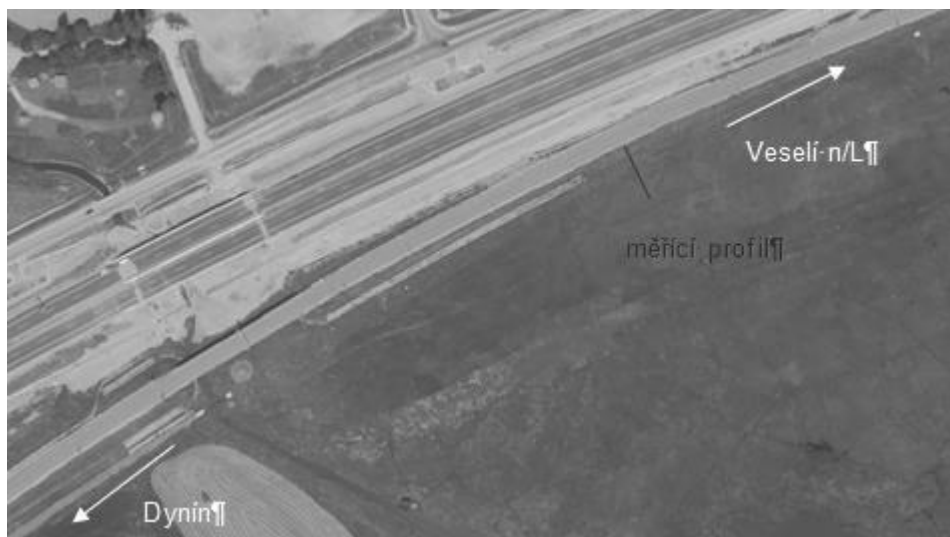
2. Lokalita

Pro měření Rayleighova vlnění byl zvolen dvoukolejný úsek na 4. železničním koridoru mezi žst. Dynín a zast. Horusice. Tento úsek byl modernizován v letech 2014-2016 [3]. V uvedeném úseku trať kříží mělké údolí Bukovského potoka nově vybudovanou přeložkou. Údolí trať překračuje pomocí mostního objektu, na který z obou stran navazuje násep výšky přibližně 5 m, která pozvolna klesá se vzdáleností od objektu.

Pro měření byl zvolen profil, který se nachází 18,5 m před hranou patky sloupu TV 50 ve směru Veselí nad Lužnicí, přibližně v km 31,200. Sledovaný profil se nachází vpravo od koleje č. 2 a zasahuje do přírodní rezervace Horusický rybník.

Trať je vedena v pravostranném směrovém oblouku, jehož poloměr v koleji č. 2 je 2500 m. Převýšení v obou kolejích je 60 mm, maximální rychlost při $l = 100$ mm je 160 km/h. Trať ve směru od žst. Dynín stoupá podélným sklonem 9,8 ‰ [4].

Na obr. 1 je uveden zákres měřicího profilu do ortofotomapy. V levé horní části obrázku je patrná dálnice D3. V dolní části je patrný Horusický rybník a Bukovský potok.



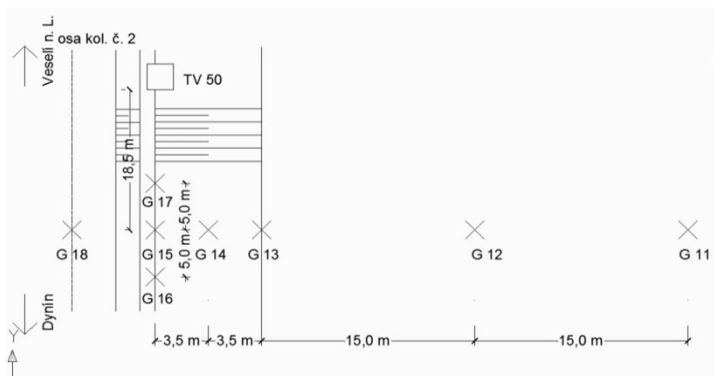
Obr. 1 - Ortofotomapa se zákresem měřicího profilu [5]

Podloží v okolí železniční tratě je v těchto místech tvořeno do hloubky cca 5 m neúnosnými a stlačitelnými rašelinami a jíly se sníženou

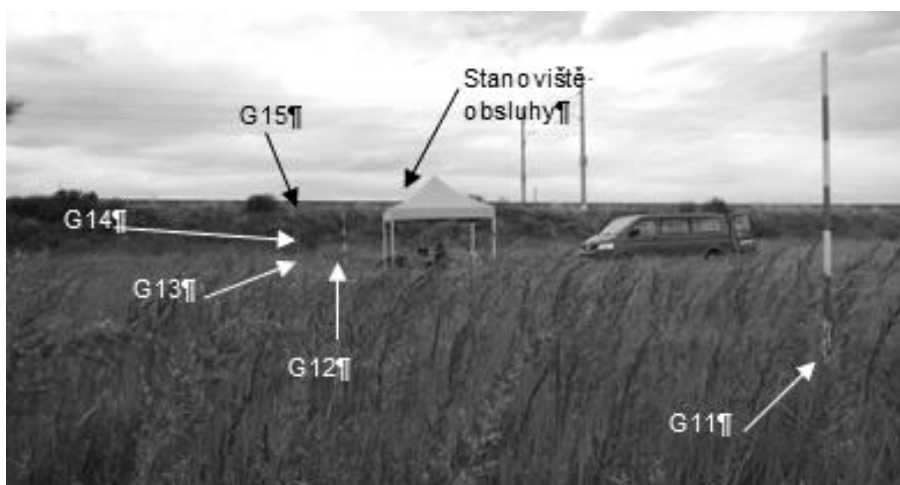
konzistencí. V lokalitě je též vysoká hladina spodní vody, která se nachází cca 0,5 - 0,8 m pod povrchem terénu. Násypové těleso bylo s ohledem na špatné geologické podmínky založeno speciálními metodami s výměnou podloží do hloubky cca 5 m, takže došlo k úplnému odtěžení nevyhovujícího podloží. Do podloží náspu byl po odtěžení nevyhovujících vrstev zaválcován lomový kámen v tloušťce 90 cm a na něj zřízena konsolidační vrstva tloušťky 90 cm, skládající se ze tří vrstev kameniva frakce 32–63 mm. Mezi vrstvy byla vložena výztužná geomříž. Násypové těleso je až po úroveň terénu rovněž tvořeno lomovým kamenem. Nad úrovní terénu je násypové těleso sendvičové konstrukce, kdy ztužující vrstvy o tloušťce 0,3 m jsou zřízeny z lomového kamene a poddajné vrstvy o tloušťce 1,0 m jsou tvořeny jemnozrnnou zeminou z odkopávek ze stavby [3].

2.1. Uspořádání měřicího profilu

Uspořádání měřicího profilu představuje obr. 2. Uspořádání profilu bylo stanoveno tak, aby umožňovalo měřit odezvu kolmo na osu trati i podélně s ní na hraně drážní stezky. Při jeho konfiguraci byly využity zkušenosti z měření prováděných v zahraničí. Cílem bylo co nejlépe pokrýt snímači zájmovou oblast náspu a přilehlého okolí. Maximální vzdálenost geofonu, což je malý snímač měřící okamžitou svislou rychlost pohybu zemského povrchu, od osy koleje byla stanovena s ohledem na předpokládaný útlum podloží tak, aby průjezd vlaku byl rozlišitelný od šumu na pozadí, jehož zdrojem může být například dálnice D3 vedoucí na protilehlé straně tratě. Poloha ostatních geofonů byla zvolena tak, aby byly pokryty charakteristické body v profilu (hrana stezky, pata náspu). Další geofony byly vloženy do poloviční vzdálenosti mezi charakteristické body. Geofony byly do podkladu umístěny v ochranných obalech opatřených trny, přičemž horní plocha ochranného obalu byla v úrovni měřeného povrchu. S měřicí ústřednou byly jednotlivé geofony spojeny pomocí kabelů o délce 13 až 50 metrů. Na obr. 3 je pohled na měřicí profil.



Obr. 2 - Schéma profilu



Obr. 3 - Pohled na měřený profil, poloha geofonů je označena výtyčkami

3. Metodika měření

Měření probíhala ve dnech 6. 5. 2020 a 8. 7. 2020, a to v čase cca od 9 do 15 hod. Každý průjezd vlaku byl zaznamenán pomocí 8 geofonů typu SM-6 označených jako G11 až G18. Pro účely tohoto článku jsou dále hodnocena data ze 4 geofonů, a to geofonů G11, G13, G15 a G18 umístěných ve směru příčného profilu. K zaznamenání měřených hodnot byla použita měřicí ústředna s frekvencí záznamu 2 000 Hz. Hodnoty napětí získané ze snímačů byly převedeny na svislou rychlost přenásobením konstantou danou výrobcem. Data byla dále zpracována v programu Sigview 4.2. Vzhledem k tomu, že použité snímače typu SM-6 mají vlastní frekvenci 4,5 Hz a dominantní frekvence generované jedoucím vlakem se obvykle nacházejí v rozmezí 40–50 Hz, byl na

získaná data aplikován filtr, který odstranil složky záznamu s frekvencí 0–10 Hz, aby došlo k odstranění zkreslení způsobeného frekvencemi okolo vlastní frekvence geofonu. Takto upravená data byla dále integrována a byl případně odstraněn vliv integrační konstanty. Po integraci totiž v některých případech nemá výsledný graf směrnici osy x nulovou. Tímto postupem byl získán průběh okamžitých svislých výchylek a na nich byly nalezeny maximální kladné a záporné hodnoty. Získané hodnoty výchylek byly dále zpracovány v programu Statistica. Systematická chyba měření je do 5 %.

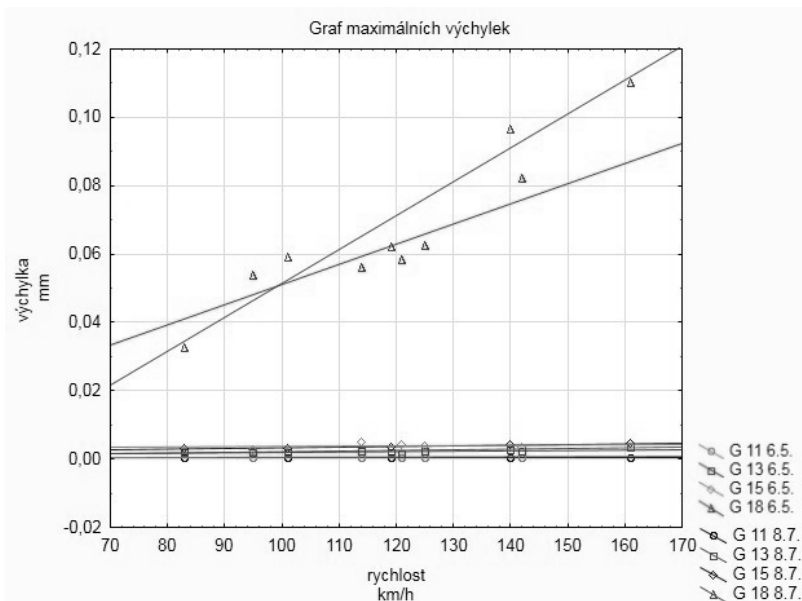
V obou dnech, kdy probíhalo měření, byly poblíž geofonů G12 a G14 odebrány vzorky zeminy pro stanovení její vlhkosti. Vzorky byly odebrány z kopaných sond z hloubky 10-30 cm.

4. Výsledky

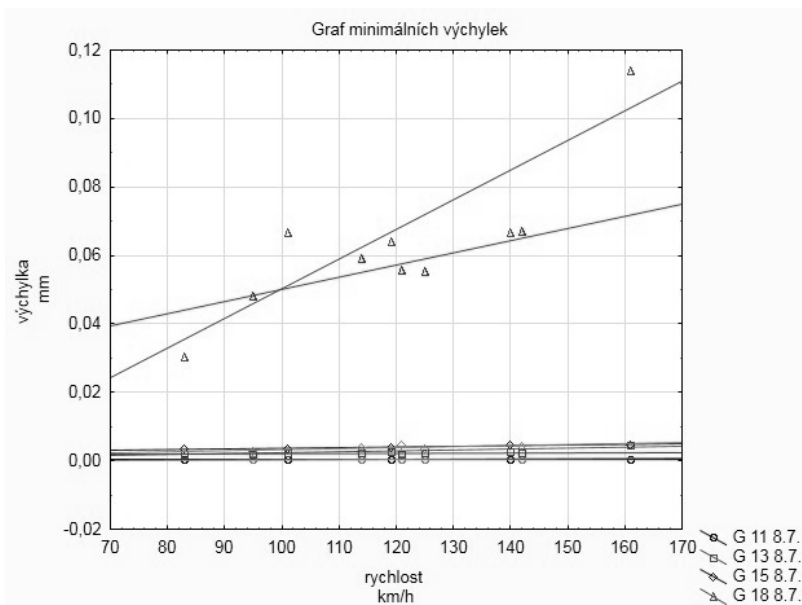
Výsledky provedených měření prezentují obr. 4 až 7. Na vodorovné ose je vynesena rychlost projíždějících vlaků a na svislé ose jsou vyneseny maximální hodnoty kladných, resp. záporných svislých výchylek, které byly hodnoceny samostatně. V případě záporných výchylek jsou zde prezentovány výsledky v absolutních hodnotách. Pro každý měřený případ byla grafem proložena lineární spojnice trendu pro jednodušší interpretaci měřených hodnot.

Vlaky byly tvořeny soupravami rychlíkových vozů klasické stavby tažených lokomotivami řady 242 nebo 362, v případě vlaku s rychlostí 160 km/h ze dne 8. 7. 2020 byl vlak veden lokomotivou řady 380.

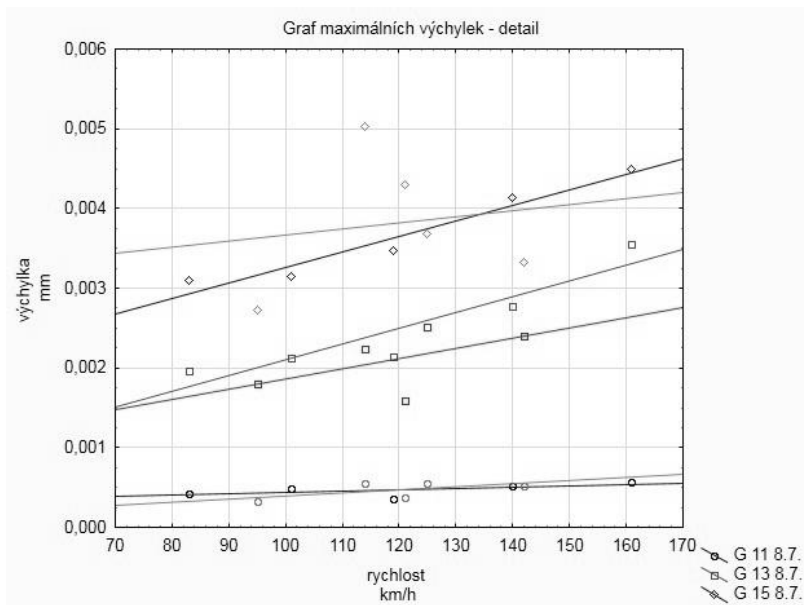
Vzhledem k tomu, že maximální výchylky byly zaznamenány v okamžiku průjezdu lokomotivy, byly rozdílné počty vozů v soupravách zanedbány. Též nejsou uvažovány rozdílné hmotnosti jednotlivých typů lokomotiv, neboť rozdíly jsou minimální - lokomotiva řady 242 má hmotnost 84 t, lokomotiva řady 362 má hmotnost 86 t a lokomotiva řady 380 má hmotnost 88 t [6].



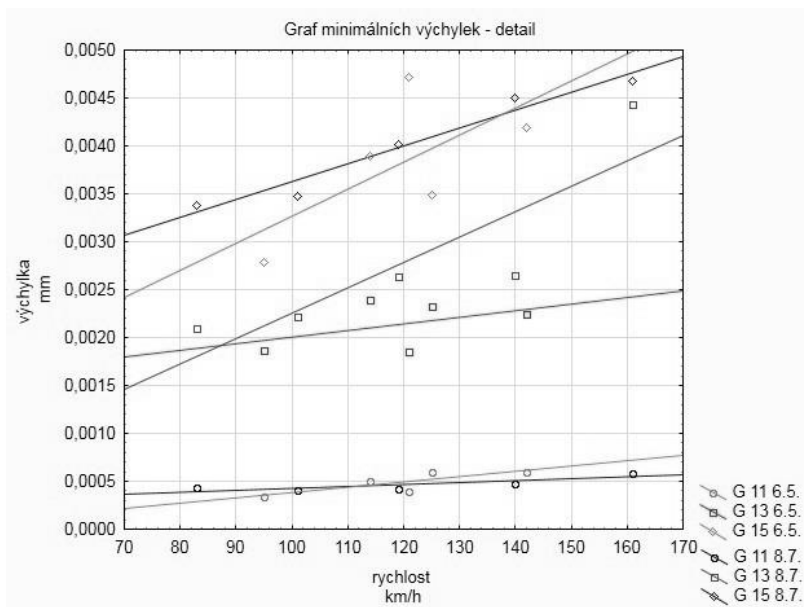
Obr. 4 - Maximální kladné výchylky – všechny geofony



Obr. 5 - Maximální záporné výchylky (absolutní hodnota) - všechny geofony



Obr. 6 - Maximální kladné výchylky – detail pro geofony G11, G13 a G15



Obr. 7 - Maximální záporné výchylky (absolutní hodnota) – detail pro geofony G11, G13 a G15

Vyhodnocení bylo provedeno na základě proložení naměřených hodnot přímkou a posouzením její směrnice (sklon vůči vodorovné ose). Lineární charakter proložení hodnot velmi dobře odpovídá celému rozsahu sledovaných rychlostí vlaků. Z grafů 4 až 7 je zřejmé, že všechny směrnice mají vzrůstající charakter, tedy při zvyšující se rychlosti jízdy vlaků se zvětšuje velikost svislé výchylky. Dalším charakteristickým rysem je, že velikost výchylek u sledovaných geofonů klesá se vzdáleností od osy koleje. Největší rozdíl ve velikosti výchylky u sousedních geofonů byl zaznamenán mezi geofony G18 a G15, a to v řádu setin milimetru. Rozdíl velikostí výchylek mezi geofony G15, G13 a G11 se pohybuje v řádu tisícín milimetru. Významně vyšší hodnoty výchylek u geofonu G18 v porovnání s ostatními geofony odpovídají jeho umístění v ose koleje. Dynamické zatížení kolejového roštu při průjezdu vlaků se projevuje i svislými pohyby kolejového lože.

Rozdíly ve velikosti kladných a záporných výchylek u jednotlivých geofonů nejsou významné, neboť se zpravidla pohybují v řádu 10^{-4} milimetru. Pro podrobnější analýzu tak byla použita pouze sada dat s kladnými výchylkami.

V následujících tabulkách 1 a 2 jsou uvedeny funkční předpisy proložených přímk ve tvaru $a+b \cdot X$.

Tab. 1 - Funkční předpisy proložených přímk pro kladné výchylky

geofon	6. květen 2020	8. červenec 2020
G11	$-2,8364 \times 10^{-6} + 3,9231 \times 10^{-6} \cdot X$	$0,0003 + 1,7053 \times 10^{-6} \cdot X$
G13	$0,0006 + 1,27 \times 10^{-5} \cdot X$	$0,0001 + 1,9933 \times 10^{-5} \cdot X$
G15	$0,0029 + 7,543 \times 10^{-6} \cdot X$	$0,0013 + 1,9515 \times 10^{-5} \cdot X$
G18	$-0,0077 + 0,0006 \cdot X$	$-0,0477 + 0,001 \cdot X$

Tab. 2 - Funkční předpisy proložených přímk pro záporné výchylky (absolutní hodnota)

geofon	6. květen 2020	8. červenec 2020
G11	$-0,0002 + 5,5726 \times 10^{-6} \cdot X$	$0,0002 + 2,0227 \times 10^{-6} \cdot X$
G13	$0,0013 + 6,9327 \times 10^{-6} \cdot X$	$-0,0004 + 2,6608 \times 10^{-5} \cdot X$
G15	$0,0004 + 2,8276 \times 10^{-5} \cdot X$	$0,0018 + 1,8603 \times 10^{-5} \cdot X$
G18	$0,0144 + 0,0004 \cdot X$	$-0,0359 + 0,0009 \cdot X$

Pro kladné výchylky je u geofonů 13, 15 a 18 patrné, že směrnice proložených přímk jsou větší u měření ze dne 8. 7., než ze dne 6. 5. Výsledná směrnice proložené přímk pro geofon 11 u měření ze dne 8. 7. je nižší než pro měření ze dne 6. 5.

Vlhkost odebraných vzorků zeminy byla stanovena dle normy ČSN EN ISO 17892-1 Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky

zemín - Část 1: Stanovení vlhkosti. Výsledky jsou uvedeny v tab. 3 a vyplývá z nich, že v červencové kampani byla v obou sondách zjištěna vyšší vlhkost, a sice o 3,3 % na náspu a o 0,9 % na louce.

Tab. 3 - Tabulka vlhkosti vzorků zeminy

	6. květen 2020		8. červenec 2020	
	Násep (G14)	Louka (G12)	Násep (G14)	Louka (G12)
vlhkost zeminy %	31,4	54,0	34,7	54,9

5. Závěr

Článek prezentuje prvotní výsledky z měření Rayleighova vlnění na náspu železniční tratě a v přilehlém okolí. Cílem měření bylo ověření navržené metodiky měření v praxi. Ověření dopadlo úspěšně. Vlastní výsledky jsou ovlivněné způsobem založení železničního náspu, kdy v jeho podloží byly málo únosné a nevhodné zeminy nahrazeny v plné mocnosti lomovým kamenem. Výměna podloží pod náspem byla navržena s ohledem na nízkou únosnost původního podloží, nereflektovala možnost výskytu negativních projevů Rayleighova vlnění. Šíření Rayleighova vlnění do okolí železniční tratě je tímto založením náspu ovlivněno, dochází k jeho tlumení. Získané výsledky jsou validní pouze pro případy, kdy je násep založen tak, že dojde k úplnému nahrazení nevhodné zeminy. Lze předpokládat, že při využití jiných metod založení náspu bude šíření Rayleighova vlnění jiné. Výsledky měření potvrdily očekávané předpoklady, a sice že s rostoucí vzdáleností od osy koleje klesá velikost svislých výchylky, pokles velikosti výchylky není lineární ve vztahu ke vzdálenosti od osy koleje a s rostoucí rychlostí jízdy vlaků dochází k nárůstu velikosti svislých výchylek. V posledním případě je patrný lineární trend růstu velikosti výchylek. Vzhledem k velmi malým rozdílům ve vlhkosti zeminy během obou sledovaných měření nelze zatím zhodnotit vliv vlhkosti na velikosti změřených výchylek. Získaná data z měření budou použita v dalším výzkumu, zejména poslouží jako základ pro matematický model a jako podklad pro další měření.

Literatura

- [1] PETÝREK, Michal a Leoš HORNÍČEK. RAYLEIGHOVO VLNĚNÍ A KRITICKÁ RYCHLOST ZEMINY Z POHLEDU ŽELEZNIČNÍCH STAVEB. In: ŠUHAJDOVÁ, Eva, Vojtěch BIOLEK a Zuzana MRŇOVÁ. *JUNIORSTAV 2020: 22. odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí*. Brno: ECON publishing, 2020, s. 217-221. ISBN 978-80-86433-73-8. DŠPS Horusice – Dynín

- [2] Technicko-provozní studie Technická řešení VRT. SUDOP Praha, 2017.
- [3] FIFKA, Marek. Modernizace trati Ševětín – Veselí nad Lužnicí, 1. část, Ševětín – Horusice. *Silnice železnice* [online]. 27.1.2016 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: old.silnice-zeleznice.cz/clanek/modernizace-trati-sevetin-veseli-nad-luznici-1-cast-sevetin-horusice/
- [4] DSPS, *Situace km 30,800 - km 32,150: C.2 - Koordinační situace stavby Modernizace trati Ševětín - Veselí nad Lužnicí, 1. část, Ševětín - Horusice*. Sagasta, 11/2016
- [5] Geoportal ČÚZK [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- [6] *Atlas lokomotiv* [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/list-el.html>

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS20/049/OHK1/1T/11.

Projektování vysokorychlostních tratí

Bc. Jiří Pospíšil

Fakulta stavební ČVUT v Praze

Tháškurova 7/2077, 166 29, Praha 6 - Dejvice

e-mail: jiri.pospisil.1@fsv.cvut.cz

Abstrakt

Železniční síť v České republice je ve srovnání s okolními státy zastaralá a nespĺňuje dnešní dobou požadované parametry, zejména tedy dostatečnou traťovou rychlost. To je příčinou skutečnosti, že mnohé vlakové soupravy, jejichž přirozená a nejkratší cesta vede přes Českou republiku, hledají svou trasu spíše v okolních státech s modernější infrastrukturou. Během následujících let má v České republice dojít k modernizaci stávající železniční sítě a výstavbě nových vysokorychlostních tratí. Tento příspěvek se zabývá základními požadavky na vysokorychlostní tratě v České republice a metodikou návrhu vedení jejich trasy podle nové dokumentace Správy železnic, která vznikla ve spolupráci s francouzskou národní železniční společností SNCF. Ta má s projektováním, výstavbou a provozem vysokorychlostních tratí již 40 let zkušeností.

Klíčová slova

Vysokorychlostní trať, projektování vysokorychlostních tratí, rychlá spojení, modernizace železničních koridorů, rozvoj železniční infrastruktury.

Design of high-speed lines

Abstract

The railway network in the Czech Republic is compared to the surrounding states obsolete and does not meet today's required parameters, especially the sufficient line speed. This is the reason for the fact that many trains, whose natural and shortest route leads through the Czech Republic, are finding their route more in the surrounding states with more modern infrastructure. In the upcoming years, the existing railway network in the Czech Republic is to be modernized and new high-speed lines are to be built. This article deals with basic requirements for high-speed lines in the Czech Republic and the methodology of design their route according to the new documentation of Správa železnic,

which was created in cooperation with the french national railway company SNCF. SNCF has already 40 years of experience in the design, construction and operation of high-speed lines.

Keywords

High-speed line, design of high-speed lines, fast connections, modernization of railway corridors, development of railway infrastructure.

1. Úvod

Česká republika se v rámci nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1315/2013, o hlavních směrech Unie pro rozvoj transevropské dopravní sítě, zavázala k rozvoji železniční infrastruktury modernizací stávajících železničních koridorů i výstavbou nových tratí v hlavních směrech dopravní sítě TEN-T. V roce 2017 pak bylo rozhodnuto o výstavbě nových vysokorychlostních tratí, modernizaci železničních koridorů, pořízení nových železničních vozidel a vytvoření nového provozního konceptu v Usnesení vlády č. 389 o Programu rozvoje rychlých železničních spojení v České republice [1].

Tímto úkolem byla jakožto správce železniční infrastruktury v České republice pověřena Správa železnic, s. o. Pro úspěšnou výstavbu nových vysokorychlostních tratí bylo potřeba přizpůsobit předpisy a normy pro jejich projektování, výstavbu a provoz, a tak vznikl ve spolupráci Správy železnic a francouzské národní železniční společnosti SNCF probíhající od dubna 2019 do března 2020 Manuál pro projektování vysokorychlostních tratí ve stupni dokumentace pro vydání územního rozhodnutí (dále jen Manuál). Podstatou této spolupráce bylo zpřístupnění francouzského know-how projektování, výstavby a provozu vysokorychlostních tratí a jeho přizpůsobení podmínkám prostředí české železnice a české legislativy [1].

2. Manuál pro projektování VRT ve stupni DÚR

Cílem Manuálu je představit projektantům požadavek investora, tedy Správy železnic, na projektové řešení stavby vysokorychlostních tratí, který vyplývá z osvědčených francouzských principů řešení a ze 40 let zkušeností společnosti SNCF aplikovaných v českém prostředí. Má jim tedy umožnit vytvořit návrh podle požadavků zákona 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), a dalších předpisů a vyhlášek, který bude optimalizován z hlediska stavebních a provozních nákladů, možnosti realizace a údržby a zároveň bude šetrný k životnímu prostředí a bude projednatelný se správními orgány a veřejností [1].

2.1. Požadavky na VRT

Požadavky kladené na vysokorychlostní tratě na území České republiky uvedené v [1] se týkají tratí určených výhradně pro vlaky s maximální hmotností na nápravu 22,5 t pro rychlost 200 až 230 km·h⁻¹ včetně, resp. 18,0 t pro rychlosti vyšší než 230 km·h⁻¹. Konvenční tratě s rychlostí 200 km·h⁻¹ nebo menší (např. propojovací úseky) se navrhují podle platných českých technických norem a předpisů Správy železnic [1].

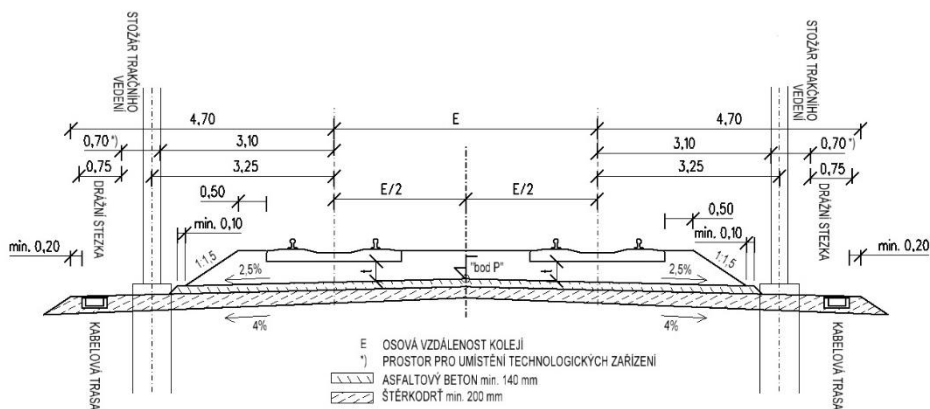
Na vysokorychlostních tratích jsou stanoveny vysoké požadavky na pravidelnost a přesnost provozu, a to i za nepříznivých klimatických a povětrnostních podmínek. Jakékoliv zpomalení provozu má okamžitý dopad na návaznost přípojů, obraty souprav apod. Z tohoto důvodu lze údržbu a obnovu tratě provádět pouze v noční provozní přestávce, jakékoliv dlouhodobé přerušení provozu se stává nákladným a provádí se pouze v nezbytně nutných případech a v nezbytně nutném rozsahu. Aby byly tyto případy v co největší možné míře vyloučeny, jsou kladeny vysoké požadavky také na kvalitu stavby. Je vyžadována spolehlivost a trvanlivost všech staveb po dobu jejich životnosti stanovené na 100 let, současně musí technická řešení staveb umožňovat diagnostické, kontrolní a údržbové práce bez nutnosti omezení provozu [1].

Při jízdě vysokou rychlostí po trati s proměnlivým podélným sklonem nemá strojvedoucí možnost zastavit na viditelnou vzdálenost v případě, že se v průjezdném průřezu trati vyskytne překážka nebo dojde k poruše železničního svršku (vybočení koleje, lom kolejnice aj.). Kromě toho musí být rychlost vlaku nezávislá na klimatických a povětrnostních podmínkách (mlha, sněžení apod.). Tyto skutečnosti zavazují projektanta k tomu, aby při návrhu vzal v úvahu veškerá známá rizika a provedl všechna nezbytná opatření k zajištění bezpečnosti provozu, kterými jsou zejména použití zabezpečovacího zařízení ETCS Level 2, použití detektorů rychlosti větru a přítomnosti sněhu nebo použití zádržných zařízení proti pádu vozidla do kolejiště [1].

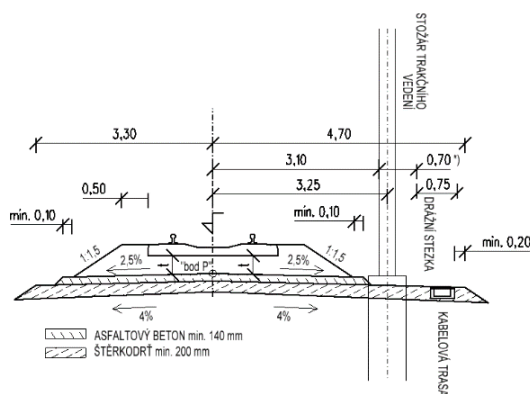
3. Vedení trasy vysokorychlostní tratě

Základním rozdílem v projektování podle [1] oproti projektování podle [2] je, že trasa není v příčném řezu charakterizována průsečíkem osy koleje s niveletou temene kolejnicového pásu, ale tzv. „bodem P“. Tento bod je u dvoukolejné trati umístěn v ose os obou kolejí na úrovni pláně tělesa železničního spodku (viz obr. 1), u jednokolejné trati v ose koleje na úrovni pláně tělesa železničního spodku (viz obr. 2). Důsledkem toho je dvoukolejná trať v situačním výkrese charakterizována pouze jednou čarou, nikoliv dvěma, jako je tomu v případě projektování podle [2]. Veškeré parametry trasy (poloměry směrových a výškových

zakružovacích oblouků, součinitele sklonů vstoupnic, součinitele změny nedostatku převýšení aj.) jsou tedy přiřazeny této referenční trase. Při soustředění charakteristického bodu trasy na pláň tělesa železničního spodku se také projektantovi výrazně zjednodušuje návrh železničního spodku [3].



Obr. 1 - Příčný řez dvoukolejnou tratí [1].

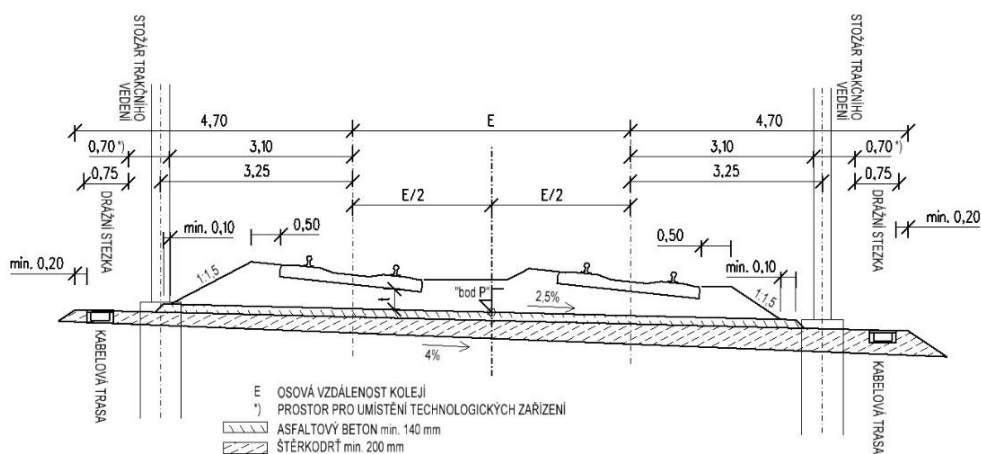


Obr. 2 - Příčný řez jednokolejnou tratí [1].

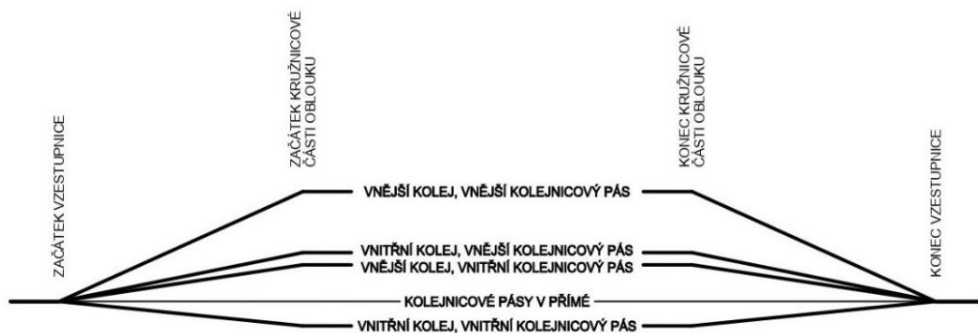
„Bod P“ však slouží pouze pro návrh trasy vysokorychlostní tratě. Pro diagnostiku a údržbu trati slouží běžné geometrické parametry koleje, jako je tomu u konvenčních tratí. Převod parametrů trasy charakterizované „bodem P“ na běžné parametry řeší [1], stejně tak jako její napojení na tratě projektované podle [2].

Pláň tělesa železničního spodku i zemní pláň je podle [1] v přímé nebo ve směrovém oblouku s převýšením do 100 mm včetně výhradně střežovitá, ve směrovém oblouku s převýšením vyšším než 100 mm jsou obě pláně jednostranně skloněné směrem ke středu oblouku (viz obr. 3). Přechod mezi střežovitými a jednostranně skloněnými pláněmi

řeší [1]. Návrh takovéto železniční trasy tedy připomíná návrh pozemní komunikace, na jejímž povrchu se zřídí železniční svršek, a to také proto, že horní konstrukční vrstva tělesa železničního spodku je vždy z asfaltového betonu (viz obr. 1, obr. 2, obr. 3) [1]. Dalším specifikem návrhu je, že se ve směrovém oblouku s převýšením nepřevyšuje vnější kolejnicový pás oproti vnitřnímu, ale každý ze čtyř kolejnicových pásů na dvoukolejně trati, resp. ze dvou kolejnicových pásů na jednokolejně trati má dle [1] předepsanou hodnotu výškové polohy vzhledem k výškové poloze kolejnicového pásu v přímé, a tak přechod mezi úsekem s převýšením a bez převýšení netvoří pouze vzestupnice, ale také sestupnice. Díky tomu pak dochází ke značným úsporám na objemu použitého kameniva pro kolejové lože. Na obr. 4 je zobrazen příklad podélného profilu všech čtyř kolejnicových pásů na dvoukolejně trati ve směrovém oblouku s převýšením.



Obr. 3 - Příčný řez dvoukolejnou tratí ve směrovém oblouku s převýšením vyšším než 100 mm [1].



Obr. 4 - Podélný profil kolejnicových pásů na dvoukolejně trati v oblouku s převýšením.

3.1. Směrové vedení trasy

Návrh směrového vedení trasy vysokorychlostní tratě je až na několik odlišností velmi podobný, jako u konvenční trati. Přechodnice mají tvar klotoidy a jejich délka je vždy shodná s délkou lineární vzestupnice. Jiné tvary přechodnic a vzestupnic se dle [1] nepoužívají. Hodnoty součinitele sklonu vzestupnice a součinitele změny nedostatku převýšení nabývají v porovnání s [2] výrazně menších hodnot. Vyšší hodnoty časové změny převýšení a nedostatku převýšení nejsou pro podvozky vysokorychlostních vozidel problémem, a tak mohou vzestupnice nabývat větších strmostí a přechodnice menších délek. Naopak dle [1] jsou oproti [2] požadovány větší délky přímých úseků trati a kružnicových částí směrových oblouků. Hodnoty těchto požadovaných délek nejsou vztaženy vzhledem k traťové rychlosti, ale jsou jednotné pro všechny rychlosti vyšší než $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Další požadavky na návrh směrového vedení trasy vysokorychlostní tratě jsou uvedeny v [1].

3.2. Výškové vedení trasy

Podélný profil určuje průběh výšky „bodu P“ po délce trasy, niveleta vysokorychlostní tratě je tedy ve srovnání s niveletou konvenční tratě umístěna o tloušťku kolejového lože a výšku kolejového roštu níže. Výškové zakružovací oblouky mají tvar paraboly druhého stupně a jsou dány poloměrem oskulační kružnice v jejím vrcholu. V porovnání s [2] nabývají tyto poloměry dle [1] výrazně menších hodnot.

Přístup k návrhu vedení trasy vysokorychlostní tratě je oproti konvenčním tratím poněkud rozdílný. Cílem návrhu je co největší zkrácení a napřímení trasy, což má za následek podstatné zvýšení traťové rychlosti a kapacity tratě, a to i za cenu zvýšení podélných sklonů trasy [4]. Pro vysokorychlostní tratě je za určitých omezení dle [1] možné navrhnout podélný sklon až 35 promile. Další požadavky na návrh výškového vedení trasy vysokorychlostní tratě jsou uvedeny v [1].

4. Závěr

V posledních letech dochází v České republice k rozsáhlým přípravám pro výstavbu nových vysokorychlostních tratí, které mají posunout českou železniční síť na evropskou úroveň. Nově vydaná dokumentace Správy železnic označovaná jako Manuál pro projektování VRT ve stupni DÚR shrnuje know-how francouzské národní železniční společnosti SNCF o projektování, výstavbě a provozu vysokorychlostních tratí a přizpůsobuje ho podmínkám prostředí české železnice a české legislativy [1]. Správa železnic tak přichází se zcela novým přístupem k návrhu vedení železniční trati, který se od přístupů, na které byli čeští projektanti doposud zvyklí u konvenčních tratí, poněkud liší. Návrh podle

této dokumentace je však pro projektanta vzhledem k charakterizování trasy „bodem P“ jednodušší. Tak soudím i podle své vlastní zkušenosti, které jsem nabyl při tvorbě své bakalářské práce (viz [3]).

Literatura

- [1] SPRÁVA ŽELEZNIC. Pokyn Generálního ředitelství Správy železnic, s. o. č. 16/2020 – „Manuál pro projektování VRT ve stupni DÚR“ (č. j. 26168/2020-SŽ-GŘ-PVRT). Správa železnic, 2020.
- [2] ČSN 73 6360-1, *Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 1: Projektování*. ČNI, 2008.
- [3] POSPÍŠIL, Jiří. *Studie propojení vysokorychlostní tratě Praha – Hradec Králové – Wrocław s koridorovou tratí Praha – Břeclav v oblasti Pardubic*. Praha, 2020. Bakalářská práce. Fakulta stavební, ČVUT v Praze. Vedoucí bakalářské práce Hana Krejčířková.
- [4] SPRÁVA ŽELEZNIC et al. *Technicko-provozní studie – Technická řešení VRT*. Správa železnic, 2017.

Metoda STEM, její aplikace a modifikace v dopravním výzkumu, zejm. v železniční dopravě

Ing. Pavel Purkart

ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů
Horská 3, 128 03 Praha 2
e-mail: purkapav@fd.cvut.cz

Abstrakt

Metoda STEM (Step Method) je nástrojem, který se primárně využívá k výběru podmnožiny projektů, které bychom měli realizovat, pokud máme k dispozici omezené množství finančních prostředků k jejich realizaci s ohledem na skutečnost, abychom tímto výběrem maximalizovali přínosy. Metoda využívá přitom zadavatelem stanovená hodnotící kritéria, přičemž její zásadní výhodou je fakt, že sama na základě svého výpočtu přiřadí těmto kritériím váhy. Tím pro stanovení optimálních vah jednotlivých hodnotících kritérií není nutnost zřizovat nebo svolávat expertní tým.

V příspěvku dochází k modifikování této metody do dopravního výzkumu, zejména v oblasti železniční dopravy. Na Ústavu dopravních systémů ČVUT v Praze Fakulty dopravní byla tato metoda primárně aplikována na zjištění prioritizace výstavby nových tramvajových tratí na území Prahy. V další etapě výzkumu byla metoda aplikována do železniční dopravy, kdy byla uzpůsobena na případy hospodárného využívání kapacity stávající železniční dopravní cesty nebo stanovení priorit výstavby vysokorychlostních tratí na území České republiky (resp. tzv. Rychlých spojení, jejichž součástí by měly být úseky vysokorychlostních tratí). Příklad hospodárného využití kapacity železniční dopravní cesty je demonstrován nejen teoreticky, ale také prakticky na trati 160 (číslo dle KJŘ 2019/2020) Plzeň – Žatec, kde na příměstském úseku Plzně je dle této metody hledán optimální model osobní dopravy.

Klíčová slova

metoda STEM, optimalizace, kapacita železniční dopravní cesty, vysokorychlostní tratě, tramvajové tratě

The STEM Method, Its Application and Modifications in Transport Research, Especially in Railway Transport

The STEp Method (STEM method) is a tool that is primarily used to select a priority of projects that we should implement if we have a limited amount of funds available to implement them, given the fact that we can maximize the benefits by this selection. The method uses the evaluation criteria set by the contracting authority, and its main advantage is the fact that it assigns weights to these criteria based on its calculation. Thus, there is no need to set up an expert team to determine the optimal weights of the individual evaluation criteria.

The paper modifies this method in transport research, especially in the field of railway transport. At the Department of Transport Systems of the Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, this method was primarily applied to determine the prioritization of the construction of new tram lines in the territory of Prague. With regard to research within this method, it is further modified and directed to railway issues. The STEM method was thus further adapted to cases of economical use of the capacity of the transport route or determination of priorities for the construction of high-speed railway lines in the Czech Republic (or so-called high-speed connections, which should include sections of high-speed lines). An example of economical use of the capacity of the railway transport route is demonstrated not only theoretically, but also practically on Pilsen - Žatec line (no. 160 in time table 2019/2020), where the optimal model of passenger transport is sought in the suburban section in the Region Pilsen according to this method.

Keywords

STEM method, optimization, railway capacity, high-speed railway lines, tram lines

1. Úvod

V současné době probíhá na Ústavu dopravních systémů ČVUT Fakulty dopravní v Praze výzkum s pomocí metody STEM (z angličtiny tzv. STEp Method). Tato metoda původně určená pro řešení ekonomických priorit (např. pořadí realizace projektů apod.) byla modifikována do dopravního výzkumu ke stanovení rozličných cílů.

Metoda STEM umožňuje řešení lineárních matematických problémů s více účelovými funkcemi. Cílem metody je najít kompromisní řešení, jehož realizace by přinesla nejvíce benefitů. Hlavním principem metody je skutečnost, že nejdříve se spočtou ideální hodnoty účelové funkce pro jednotlivé případy a poté se minimalizují vážené odchylky

kompromisního řešení od ideálních hodnot účelové funkce. Základem metody je iterativní postup hledání kompromisního řešení.

2. Popis metody STEM

Metoda STEM má tu výhodu, že vyžaduje minimální spolupráci mezi zadavatelem úlohy a jejím řešitelem oproti jiným metodám. Metoda stanoví váhy pro jednotlivá kritéria vlastním výpočtem a následně se zadavatel musí rozhodnout, zda je výsledek pro něj akceptovatelný či nikoli. Metoda se tak skládá jednak z procesu výpočetního, a jednak z procesu rozhodovacího. Pokud zadavatel rozhodne, že výsledek výpočtu je pro něj akceptovatelný, výpočet je konečný. Pokud tomu tak není, musí zadavatel informovat řešitele úlohy o změně vybraných kritérií nebo úpravě jejich počtu a výpočet je proveden znovu.

Metoda STEM se skládá z následujících kroků:

1. Řešitel spočte optimální řešení pro jednotlivá kritéria (účelové funkce) zvlášť. Počet výpočtů tedy odpovídá počtu kritérií.

2. Řešitel vyčíslí váhy jednotlivých kritérií na základě následujícího vzorce:

$$w_i = \frac{z_{ii} - \min_{j=1, \dots, k} z_{ij}}{z_{ii}} \frac{\alpha}{\sqrt{\sum_{i=1}^n c_{ij}^2}} \quad (1)$$

kde:

z_{ij} – prvek matice hodnot optimalizačních kritérií pro optimalizaci pro jednotlivá optimalizační kritéria (z_{ij} je hodnota optimalizačního kritéria $j = 1, \dots, k$ v případě optimalizace podle kritéria $i = 1, \dots, k$ [-])

c_{ij} – prvek tzv. „cenové matice“ – prvek matice koeficientů jednotlivých optimalizačních kritérií [-] [-]

Hodnota α se získá z následující rovnice:

$$\sum_{i=1}^k \frac{z_{ii} - \min_{j=1, \dots, k} z_{ij}}{z_{ii}} \frac{\alpha}{\sqrt{\sum_{i=1}^n c_{ij}^2}} = 1 \quad (2)$$

V praxi musíme nejdříve vypočítat hodnotu tohoto koeficientu a pak teprve můžeme vyčíslit váhy jednotlivých kritérií. Pokud je zadavatel spokojen s vybranými hodnotami optimalizačních kritérií, pak stanoví hodnotu $w_i = 0$. Pokud váha pro více kritérií splňuje podmínku $w_i > 0$, řešitel přidá novou proměnnou $d \geq 0$ a řeší model s novým optimalizačním kritériem:

$$\min f(x, d) = d \quad (3)$$

Pro korektní výpočet se zavede jednoduchá omezující podmínka:

$$w_{ii}(z_{ii} - \sum_{j \in J} c_{ij}X_j) \leq d \quad (4)$$

Pokud podmínka $w_i > 0$ platí pouze pro jedinou hodnotu $i = 1, \dots, k$, řešitel smí zjednodušit omezující podmínku takto:

$$\min f(x) = \sum_{i=1}^k w_{ii}(z_{ii} - \sum_{j \in J} c_{ij}X_j) \quad (5)$$

3. Řešitel prezentuje výsledky zadavateli. Pokud výsledek pro zadavatele není uspokojivý, ten musí upravit kritéria, případně jiná přidat nebo použitá zčásti odebrat. Následně se řešitel vrací k výpočtům dle bodu 2. Pokud je zadavatel s výsledky spokojen, řešitele nalezl tzv. kompromisní řešení. Pokud dosáhne při řešení problému hodnota $d = 0$, bylo dosaženo řešení optimálního.

3. Příklady využití metody STEM

Výzkum s použitím metody STEM proběhl na ČVUT v Praze Fakultě dopravní, Ústavu dopravních systémů na následujících problémech:

- stanovení priorit výstavby tramvajových tratí na území Prahy,
- hospodárné využití kapacity železniční dopravní cesty,
- stanovení priorit výstavby vysokorychlostních tratí na území České republiky.

3.1. Stanovení priorit výstavby tramvajových tratí na území Prahy

První test modelu byl proveden na problematice stanovení priorit výstavby tramvajových tratí na území Prahy. Zde ani metoda nemusela být nijak extra modifikována, jelikož byla použita ke svému původnímu účelu.

Metoda STEM pracovala s celkovou výší předpokládaných investičních nákladů, které je zadavatel v rámci realizace projektů ochoten vložit do jejich výstavby. Pro účely výpočtu v tomto článku byly stanoveny hranice 4 mld. Kč, 7 mld. Kč a 10 mld. Kč.

K výpočtu bylo vybráno celkem 16 projektů na území Prahy s investičními náklady od 238,4 mil. Kč až do zhruba 2 mld. Kč. Projekty včetně vybraných hodnotících kritérií představuje obrázek 1 na následující straně.

ozn.	název projektu	délka TT	investiční náklady	potenciál spád. území - celkem	přepr. zátěž na profilu - max.	přepr. zátěž na profilu - min.	přepr. potenciál na jednotku délky TT	podíl nově obslužených z potenciálu celkem	celk. skóre	skóre dopr.- provoz. aspektů
		[m]	[mil. Kč]	[os]	[tis. os/den]	[tis. os/den]	[os/den-m]	[%]	[%]	[%]
A	Dědinská - Dlouhá Míle - Terminál 3 - Prague Airport Park	2 077	773,3	16 000	3,0	2,6	7,703	100	46,32	36,48
B	Kobylisy - Bohnice	6 500	2 053,5	41 050	41,0	11,3	6,315	80	63,25	65,38
C	Počernická	2 400	620,0	19 440	21,3	6,8	8,100	58	53,90	52,63
D	Zlíchov - Dvorce (Dvorecký most)	600	990,0	1 030	53,8	53,8	1,717	17	57,99	93,31
E	Vinohradská/Škrétova - Muzeum - Hlavní nádraží - Bolzanova	1 163	424,0	33 970	25,0	24,5	29,209	0	57,24	89,75
F	Nádraží Podbaba - Suchdol	5 036	1 646,0	24 250	30,5	1,0	4,815	88	60,79	65,61
G	Spořilov - Choceradská	1 692	561,3	11 890	10,6	3,0	7,027	92	53,02	58,03
H	Choceradská - Chodovec - Opatov - Háje - Jižní Město	5 333	2 001,0	50 790	29,6	2,3	9,524	54	57,44	61,44
J	Na Veselí - Pankrác - Budějovická	1 387	704,0	38 500	8,0	7,0	27,758	2	49,84	49,66
K	Budějovická - Dvorce	2 778	739,4	27 070	48,0	32,0	9,744	22	62,05	78,82
L	Budějovická - Vyskočilova - Michle (U Plynárny)	2 153	784,9	19 930	24,0	15,0	9,257	88	55,31	67,95
M	Malovanka/Dlabačov - Strahov	1 539	660,0	10 410	14,0	3,5	6,764	60	48,67	41,37
N	Ústřední dílny DP - Průmyslová - Štěrboholy	2 003	730,2	6 210	8,1	2,0	3,100	77	36,59	35,47
O	Vypich - Nemocnice Motol - Motol	2 229	720,4	5 800	20,0	10,0	2,602	10	42,95	69,98
Q	Podbaba - Troja (ZOO)_1. etapa propojení Prahy 6 a Prahy 8	x	1 152,0	3 210	8,0	4,0	3,227	75	39,22	54,81
R	Vinohradská - Václavské náměstí	698	238,4	41 160	40,0	30,0	58,969	0	56,73	86,67
				MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX

Obr. 1 - Tabulka všech projektů (úseků) nových tramvajových tratí v Praze se všemi hodnotícími kritérii

Následující tabulka shrnuje projekty vybrané pro jednotlivé investiční rámce.

projekt	výběr projektu		
	var. 4 mld. Kč	var. 7 mld. Kč	var. 10 mld. Kč
A	ano	ano	ano
B	ne	ne	ne
C	ne	ano	ano
D	ano	ano	ano
E	ano	ano	ano
F	ne	ne	ano
G	ano	ano	ano
H	ne	ne	ne
J	ne	ne	ano
K	ne	ano	ano
L	ano	ano	ano
M	ne	ano	ne
N	ne	ne	ano
O	ne	ne	ne
Q	ne	ano	ano

Obr. 2 - Vybrané projekty pro jednotlivé investiční rámce

Zejména projekt J představuje ostře sledovaný plán výstavby tramvajové tratě až k areálu České zemědělské univerzity na okraji Prahy. Metoda STEM potvrzuje potřebnost tohoto záměru, nicméně až v případě dostatečné dostupnosti dostatku finančních prostředků. To je logické, jelikož intenzita přepravního proudu je nárazová (začátky/konce výuky na univerzitě, akademický rok vs. prázdniny), a tudíž důležitější jsou jiné projekty.

V žádné z variant nejsou doporučeny projekty B: Kobylisy – Bohnice, H: Choceradská – Chodovec – Opatov – Háje – Jižní město a O: Vypich – Nemocnice Motol – Motol, což zejména v případě projektů B a H jsou projekty s poměrně značnými investičními náklady a navíc v případech H a O je zajištěna alespoň částečně dopravní obslužnost území linkami pražského metra. Navíc se jedná o spíše okrajová území Prahy. Projekt M: Malovanka/Dlabačov – Strahov vyhodnocuje však metoda STEM také jako spíše okrajový a ve variantě 7 mld. Kč investic vychází rozhodně pouze jako doplněk.

3.2. Hospodárné využití kapacity železniční dopravní cesty

Kapacita železniční dopravní cesty je jednoznačně parametrem, který ovlivňuje její využitelnost. Nejen v České republice, ale ve všech vyspělých zemích, kde se osobní železniční doprava využívá jako páteřní v obsluze regionů, je významným problémem právě její kapacita, která často nedokáže uspokojit všechny požadavky. Je tak nastolena otázka, které vlaky provozovat tak, aby toto bylo s ohledem na omezující infrastrukturu co nejúčelnější. Neexistují přitom jednotné postupy a prakticky každý stát, resp. provozovatel dráhy a objednavatel osobní železniční dopravy, k této problematice přistupuje jinak.

To vedlo při výzkumu na otázku, zda nelze nalézt model optimálního využití kapacity dopravní cesty, a to zejména v případě osobní dopravy. Modifikováním metody STEM byla dokázána i její využitelnost na tento problém. Jako limitní parametr byla stanovena kapacita omezujícího traťového úseku na zkoumané části železniční sítě vyjádřená v maximálním možném čase obsazení všemi vlaky pro daný směr, např. během intervalu 120 minut. K tomu byla přirozeně stanovena příslušná hodnotící kritéria:

- denní předpokládaný průměrný počet cestujících v omezujícím úseku v tisících,
- denní předpokládaný průměrný počet cestujících v rámci celé linky v tisících,
- využití traťové rychlosti v logicky ohraničeném úseku,
- ohodnocení systémových přípojových vazeb na lince v logicky vymezeném úseku,

- porovnání cestovních dob IAD a dané linky ve třech nejzatíženějších relacích na lince

Test modelu byl proveden jak teoreticky, tak prakticky na trati Plzeň – Žatec. Bylo uvažováno, že na trati zhruba ve stávajícím stavu infrastruktury dojde ke střetu následujících požadavků objednatelů osobní železniční dopravy coby veřejné služby:

- linka R Plzeň – Most v intervalu 120 minut,
- linka Sp Plzeň – Žihle v intervalu 120 minut,
- linka Os 1 Plzeň – Žihle v intervalu 60 minut,
- linka Os 2 Nýřany – Plzeň – Plasy v intervalu 60 minut.

Bylo dosaženo výsledku, že na trať je vhodné umístit linky R, Os 1 a Os 2.

3.3. Stanovení priorit výstavby vysokorychlostních tratí na území České republiky

Pro stanovení priorit výstavby vysokorychlostních tratí na území ČR bylo stanoveno pět hodnotících kritérií:

- **náročnost trasování** (průchodnost trasy terénem a s tím související aspekty),
- **potenciál aglomerací na trase trati** (ohodnocení významu aglomerací na trase),
- **potenciál převodu intenzit dopravy z pozemních komunikací** (možnost převodu dopravy ze sítě pozemních komunikací na železniční síť, konkurenceschopnost železnice vůči IAD),
- **průměrný koeficient zkrácení cestovní doby ve zkoumaných relacích** (faktor zkrácení cestovních dob mezi významnými aglomeracemi po zprovoznění tratě),
- **význam s ohledem na počet převedených tras dálkové dopravy** (převod dálkových vlaků z konvenční železniční sítě a tím uvolnění kapacity železniční dopravní cesty pro jiné vlaky),

Pro získání výsledků byly sestaveny dva modely. Největší váhy byly v modelech přiřazeny kritériím **význam s ohledem na počet převedených tras dálkové dopravy a náročnost trasování**, a to v obou případech vyšší než 30 %. S hodnotou oscilující kolem váhy 20 % bylo ohodnoceno kritérium **průměrný koeficient zkrácení cestovní doby ve zkoumaných relacích**. Naopak v obou výpočtech vyšla velmi nízká hodnota pro kritéria **potenciál převodu intenzit dopravy z pozemních komunikací a potenciál aglomerací na trase**, a to nižší než 5 %.

Pro obě verze modelu byl proveden výpočet, přičemž ani v jednom případě nebylo dosaženo $d = 0$. Z toho plyne, že bylo dosaženo řešení kompromisních, nikoli optimálních.

Jako první dva prioritní úseky doporučené k výstavbě byly vybrány metodou STEM následující:

- Praha – Brno,
- Brno – [Slovensko/Rakousko]

Se střední preferencí následují tyto úseky:

- Brno – Ostrava – [Polsko],
- Praha – Píseň – [Německo].

Nejnižší preferencí byly ohodnoceny zbývající dva úseky:

- Praha – Ústí – Německo s odbočkou do oblasti podkrušnohorské pánve,
- Praha – Hradec Králové/Liberec – [Polsko].

4. Závěr

Jak bylo představeno v tomto příspěvku, metodu STEM lze při její modifikaci v dopravním výzkumu využít k širokému spektru úloh. Je však nutné pečlivě nastavit hodnotící kritéria, aby její využití dávalo smysl a výsledky byly přijatelné. Metoda je tak s úspěchem na ČVUT v Praze Fakultě dopravní, Ústavu dopravních systémů využívána ke zcela novým účelům, než byla původně navržena.

Literatura

- [1] AHERN, A., G. ANANDARAJAH . Railway projects prioritisation for investment: Application of goal programming. *Transport Policy*, 2007, 14 (1), 70–80. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2006.10.003>
- [2] PURKART, Pavel. Optimální kooperace jednotlivých segmentů veřejné hromadné dopravy [doktorandské minimum]. Praha: ČVUT Fakulta dopravní v Praze, Ústav dopravních systémů. Datum obhajoby: 2019-12-06.. Školitel: L. TÝFA. Školitel-specialista: M. JACURA.
- [3] TEICHMANN, Dušan and Michal DORDA. Comparison of Two Selected Methods In Evaluating Of Investments in Transport Infrastructure. In *Finance and Performance of Firms in Science, Education and Practice : proceedings of the 7th International Scientific Conference: April 23-24, 2015, Zlín, Czech Republic*. Zlín: Tomas Bata University in Zlín, 2015. s. 1524-1536. ISBN 978-80-7454-482-8.

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za podpory projektu Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS20/138/OHK2/2T/16 „Stanovení a optimální využití parametrů železniční dopravní cesty“.

Návrh převýšení koleje v obloucích malých poloměrů s ohledem na rozvoj skluzových vln - pokračování

Ing. Jan Valehrach

Fakulta stavební, VUT v Brně

Veveří 331/95, 602 00, Brno

e-mail: valehrach.j@fce.vutbr.cz

Abstrakt

Příspěvek navazuje na loňský příspěvek na konferenci Želva 2019 s názvem „Návrh převýšení koleje v obloucích malých poloměrů s ohledem na rozvoj skluzových vln“, který se zabýval simulací jízdy vlaků v obloucích záhlaví žst. Havlíčkův Brod. Tento článek řeší návrh nového převýšení a rychlostních limitů daných oblouků ve vztahu k reálně změřeným rychlostem vlaků.

Klíčová slova

Vztah vozidlo - kolej, převýšení koleje, směrové oblouky.

Design of track cant in curves of small radius regarding development of rail corrugation - continuation

Abstract

The paper continues to previous article "Design of track cant in curves of small radius regarding development of rail corrugation", which deals with the simulation of train running in curves on approach of the Havlíčkův Brod railway station. This article brings a design of the new track cant and limit speed of the given curves in relation to the real measured speeds of trains.

Keywords

Vehicle track interaction, track cant, horizontal curve.

1. Úvod

Loňský příspěvek na konferenci Želva 2019 s názvem „*Návrh převýšení koleje v obloucích malých poloměrů s ohledem na rozvoj skluzových vln*“ [1] se zabýval především dopravním provozem na okrouhlickém záhlaví žst. Havlíčkův Brod. Zkoumány a simulovány byly jízdy vlaků přes dva protisměrné oblouky a bylo zjišťováno, zda soupravy dokáží využít projektované převýšení koleje a navrženou rychlost. V závěru článku jsou položeny otázky, zda do stávajících geometrických parametrů koleje – konstrukčního uspořádání koleje – nezasáhnout a nezměnit převýšení koleje a s tím spojené snížení rychlosti. Snížování rychlosti, v České republice téměř tabuizované téma, nemusí nutně znamenat prodloužení jízdních dob či snížení komfortu cestování. Předchozí článek ukázal, že drtivá většina simulovaných souprav nevyužije parametrů a rychlosti tratě a změna převýšení (snížení rychlosti) by mohla prodloužit životnost koleje. Zásadní je uvědomit si posloupnost příčin a následků. Cílem tohoto příspěvku není navrhovat nižší převýšení a s ním spojené snížení rychlosti s cílem prodloužit životnosti koleje. Naopak. Cílem je na základě dat v loňském článku z reálných možností souprav, přesněji dosažených rychlostí, zpětně navrhnout optimální převýšení a tím prodloužit životnost koleje. Konkrétním cílem je zpomalit rozvoj vlnovitých deformací, tím snížit počet údržbových a opravných zásahů a počet a délku případných výluk, které cestující a dopravci vnímají nejvíce.

2. Převýšení, rychlosti a návrh

2.1. Návrh převýšení

Abychom splnili cíle stanovené v úvodu příspěvku, budeme navrhovat převýšení odpovídající provozním podmínkám v dotčených obloucích.

Norma [2] uvádí: „Teoretické převýšení D_{eq} je dáno takovým úhlem odklonu spojnice temen kolejnicových pásů od horizontální roviny, kdy výslednice svislého zrychlení vyvolaného gravitací a odstředivého zrychlení vyvolaného průjezdem vozidla s rychlostí V obloukem o poloměru R působí kolmo ke spojnici temen kolejnicových pásů. Tuto veličinu lze počítat dle vzorce:

$$D_{eq} = \frac{11,8 \cdot V^2}{R} \quad [\text{mm}]$$

Vlaky jedoucí rychlostí:

$$V > \sqrt{\frac{D \cdot R}{11,8}} \quad [\text{km/h}]$$

projíždějí obloukem s nedostatkem převýšení I:

$$I = \frac{11,8 \cdot V^2}{R} - D > 0 \quad [\text{mm}]$$

V takovém případě dochází ke zvětšení zatížení vnějšího kolejnicového pásu nárůstem vodící a svislé kolové síly.

Vlaky jedoucí rychlostí:

$$V < \sqrt{\frac{D \cdot R}{11,8}} \quad [\text{km/h}]$$

projíždějí obloukem s přebytkem převýšení E:

$$E = D - \frac{11,8 \cdot V^2}{R} > 0 \quad [\text{mm}]$$

V takovém případě dochází ke zvětšení zatížení vnitřního kolejnicového pásu především nárůstem svislé kolové síly."

Norma [2] dále uvádí: Převýšení „*má dále zohledňovat hospodárnost údržby tak, aby opotřebením obou kolejnicových pásů vlivem zatížení provozem bylo pokud možno vyrovnané. V projektu je tedy třeba při návrhu velikosti převýšení zohlednit uvažovanou skladbu vlaků (četnost vlaků podle jejich rychlosti a hmotnosti).*“

2.2. Návrhová rychlost

Pojem „Návrhová rychlost“ V_n , vypůjčený ze silničního stavitelství [3], bude určovat rychlost, na kterou bude oblouk navržen.

V silničním stavitelství dle [3] „Návrhová rychlost ... vychází z nejvyšší dovolené rychlosti a zvoleného kategoriálního typu ...“

Naneštěstí v železničním stavitelství, i když budeme navrhovat na konkrétní rychlost, proto pojem „návrhová rychlost“, nemusí, a pravděpodobně nebude, znamenat (vyjadřovat, reprezentovat) nejvyšší rychlost úseku.

Do řešení v [1] vstupují rychlosti „*pro vozidla s omezenými silovými účinky na trať (maximální hmotnost na nápravu 18 t)*“ V_{130} a V_{150} a rychlost pro jednotky s naklápějícími skříněmi V_k , jejichž hodnoty budou vyšší než „Návrhová rychlost“. Tyto rychlosti jsou často dopočítávány a stanoveny až dodatečně po návrhu. Je však vhodné je brát v úvahu dříve, abychom se vyhnuli případným propadům dané rychlosti. To ovšem komplikuje samotný návrh.

Nelze zapomenout ani na rychlosti, které jsou nižší než V_n .



Obr. 1 - Množství rychlostníků v Brně-Maloměřicích

2.2. Návrh

V případě návrhu novostavby dostane projektant zadánu rychlost, na kterou bude daný úsek, v našem případě oblouky, navrhovat.

Nejjednodušší situace je u uzavřených systémů typu metra, kde všechny soupravy dosahují stejných rychlostí ve stejných místech. Dalším shodným parametrem všech souprav je jejich hmotnost. Ta sice může kolísat vlivem různého počtu cestujících, ale v drtivé většině případů se jedná o jediný proměnlivý parametr.

I u tramvajových systémů navíc přibývá i variabilita vozového parku (u metra byla zanedbána). Variabilita se projeví nejen hmotnostmi vozů, ale také jejich konstrukcí (chodové vlastnosti, otočné podvozky apod.) a výkony.

Největší rozmanitost vozového parku je pak na železniční síti. Po jedné trati, po dané koleji, se mohou pohybovat nejen lehké osobní jednotky, ale také těžké nákladní vlaky, které v porovnání s jednotkami budou dosahovat mnohem nižších rychlostí. V případě budování nových vysokorychlostních tratí je možné provozovat pouze osobní dopravu a tratě navrhovat tak, aby i soupravy odbočující z hlavní tratě snižovaly svoji rychlost až za příslušnou výhybkou. Všechny vlaky by optimálně měly dosahovat stejných rychlostí, což „zrovnobězí“ grafikon vlakové dopravy, významně zvýší propustnost – kapacitu tratí a zjednoduší

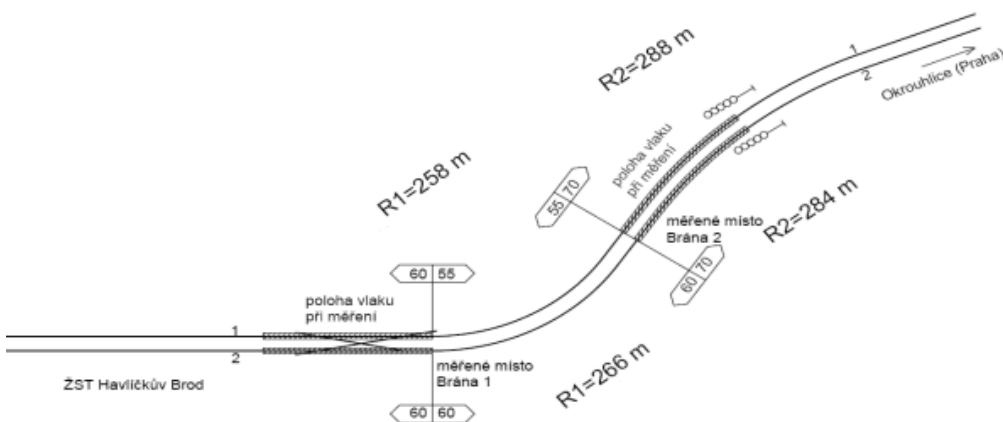
projektování. Bohužel i v tomto případě se zpravidla jedná o nereálný požadavek, protože tratě využívají vlaky jedoucí různou rychlostí.

O poznání složitější situace je na stávajících tratích. Mnoho parametrů je pevně dáno a není možné je měnit bez významných investic. Typickými parametry jsou poloměry oblouků, délky přechodnic a vzestupnic. Projektant tak může rychlost ovlivnit často pouze převýšením koleje. Ve snaze o zkracování jízdních dob se pak zvyšují povolené rychlosti a mnohdy i převýšení koleje za cenu větších provozních opotřebení.

3. Stanovení vhodného převýšení koleje

3.1. Měření skutečných rychlostí souprav

V Havlíčkově Brodě byly skutečné rychlosti projíždějících souprav měřeny v obou kolejích trati č. 324 na okrouhlickém záhlaví na dvou místech, jak ukazuje obrázek č. 2.



Obr. 2 - Schéma měření rychlostí vlaků na úseku „Havlíčkův Brod“.

Upraveno z [4]

Rychlosti byly zpracovány z několika měřících kampaní pro 3 skupiny vlaků: osobní (O_s), rychlíky (R) a nákladní (N). Nebyl brán zřetel na skutečnost, zda vlak pojížděl výhybkami v přímém či odbočném směru. Snahou je návrh převýšení a rychlost pro danou lokalitu. Vyloučeny nebyly ani vlaky, které v obloucích zastavily (viz [1]).

Při měřeních byla snaha změřit tutéž soupravu na obou místech, což se bohužel ne vždy z technických důvodů podařilo. Z tohoto důvodu jsou procentuální zastoupení jednotlivých skupin mírně rozdílné mezi

oblouky 1 a 2. Samostatné lokomotivy, pracovní stroje apod. byly z vyhodnocení vyřazeny.

Tab. 1. a 2 - Průměrné rychlosti jednotlivých skupin. V_{NP} je rychlost z Nákrešného přehledu (před/za rychlostníkem dle směru jízdy v dané koleji). Levá tabulka je pro směr Okrouhlice – Havl. Brod (kolej č. 1) a pravá pro směr Havl. Brod – Okrouhlice (kolej č. 2)). Podíl ukazuje procentuální zastoupení jednotlivých skupin během měření.

kolej 1			
	brána 2	brána 1	podíl
	V	V	
	[km/h]	[km/h]	[%]
Os	37,5	34,6	42,4
R	48,0	45,7	30,3
N	36,6	6,3	27,3
V_{NP}	70/55	55/60	

kolej 2			
	brána 1	brána 2	podíl
	V	V	
	[km/h]	[km/h]	[%]
Os	37,1	50,1	34,1
R	50,2	58,4	26,8
N	26,4	42,1	39,0
V_{NP}	60/60	60/70	

Z tabulek je vidět, že soupravy u rychlostníků nedosahují rychlostníky zobrazovaných rychlostí. Výjimkou jsou rychlíky v druhé koleji druhého oblouku.

3.2. Stanovení převýšení dle rychlostí

Na základě zprůměrovaných skutečných rychlostí a parametrů oblouku z měření měřicím vozíkem Krab byla vypočítána teoretická převýšení D_{eq} .

Tab. 3. a 4 - Navržené teoretické převýšení ze skutečných rychlostí (D_{eq}) a převýšení změřené měřicím vozíkem Krab (D_{krab}) (rozložení tabulek odpovídá Tab. 1 a 2)

kolej 1				
	brána 2		brána 1	
	D_{eq}	D_{krab}	D_{eq}	D_{krab}
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Os	58	43	55	139
R	94	43	96	139
N	55	43	2	139

kolej 2				
	brána 2		brána 1	
	D_{eq}	D_{krab}	D_{eq}	D_{krab}
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Os	61	83	104	139
R	112	83	142	139
N	31	83	74	139

Pokud bychom při návrhu vzali v úvahu pouze rychlost, v obloucích by mohla být navržena teoretická převýšení, neboť jakákoliv z uvedených hodnot je dle normy [1] přípustná. Zůstává otázka, jaké převýšení zvolit.

3.3. Stanovení převýšení dle nedostatků/přebytků převýšení

Chceme-li snižovat provozní opotřebení a vady (mít nedostatky a přebytky převýšení co nejnižší, ideálně nulové), je nutné při stanovení převýšení zohlednit další působení vlaků na trať. Tímto dalším působením bude určitě hmotnost vlaku. Jiné působení bude mít pomalý těžký (nákladní) vlak a jiné rychlá lehká (osobní) jednotka. Zvýšený výskyt a rychlejší rozvoj vlnovitých deformací v obloucích s vysokými hodnotami nedostatku a přebytku převýšení uvádí např. [5].

Dle metodiky v [4] byl ze změřených skutečných rychlostí vypočítán nedostatek nebo přebytek převýšení a pomocí hmotností vlaků, které posloužily jako váhy, byl určen vážený nedostatek, resp. přebytek převýšení. Užito bylo vždy takové převýšení, aby výsledná hodnota váženého nedostatku/přebytku převýšení byla nulová.

Navržená převýšení a z nich vypočítané nové ideální rychlosti jsou v Tab. 5.

Tab. 5 - Porovnání stávajících parametrů (D_{stav} a V_{stav}) s hodnotami z vážených výpočtů ($D_{váž}$ a $V_{váž}$)

	D_{stav}	V_{stav}	$D_{váž}$	$V_{váž}$
	[m]	[km/h]	[m]	[km/h]
1. kolej 1. oblouk	43	55	41	30
1. kolej 2. oblouk	139	70	70	40
2. kolej 1. oblouk	83	60	68	40
2. kolej 2. oblouk	139	70	92	50

3.4. Nové rychlostníky

Porovnáme-li si nové rychlosti ($V_{váž}$) v Tab 5 s průměrnými rychlostmi jednotlivých skupin vlaků v Tab 1 a 2, zjistíme, že především rychlíky výkonově zvládají vyšší rychlosti v daných obloucích. Proto byly rychlosti V_n zvýšeny oproti rychlostem $V_{váž}$ vypočítaných z vážených nedostatku/přebytků převýšení a skutečných rychlostí tak, aby rychlíkové vlaky nebyly zbytečně zpomalovány.

Tab. 6 - Doporučené výsledné rychlosti pro nové rychlostníky

	V_n
	[km/h]
1. kolej 1. oblouk	40
1. kolej 2. oblouk	50
2. kolej 1. oblouk	50
2. kolej 2. oblouk	60

4. Závěr

Snižování rychlosti a prodlužování cestovních dob, byť v řádech sekund, jde proti současnému opačnému trendu, kdy často za cenu miliardových investic naopak sekundy z cestovních dob mažeme. Otázkou je, zda alespoň na některých tratích opravdu pro prodloužení životnosti tratí převýšení kolejí a rychlosti nezměnit.

V příspěvku byly navrženy nové hodnoty převýšení koleje a nové rychlostní limity pro rychlostníky. Jak ukazuje příklad z Havlíčkova Brodu, ve výsledku nemusí změny znamenat zpomalení stávajícího provozu, protože stávající vozový park výkonově nevyužije stavební parametry tratě. V případě modernizace či nákupu nových vozidel v budoucnu by, pokud by to bylo nutné, bylo možné navrátit současná převýšení a rychlosti.

Literatura

- [1] VALEHRACH, J. Návrh převýšení koleje v obloucích malých poloměrů s ohledem na rozvoj skluzových vln. In Sborník studentské vědecké konference Železniční výzkumné aktivity. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2019. s. 132-140. ISBN: 978-80-01-06622-5.
- [2] ČSN 736330-1 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 1: Projektování. 2008.
- [3] ČSN 736101 Projektování silnic a dálnic. 2018
- [4] ŠMÍD, J. Přebytek převýšení – sledování traťových úseků. In *Juniorstav 2016*. Brno: VUT v Brně, 2016. s. 1-8. ISBN: 978-80-214-5311-1.
- [5] VALEHRACH, J.; GUZIUR, P.; ŘÍHA, T.; PLÁŠEK, O. Assessment of rail long-pitch corrugation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, roč. 236, č. 1, s. 1-8. ISSN: 1757-899X.

Poděkování

Prezentované výsledky byly získány za podpory projektu č. TE01020168 – CESTI a Správy železnic, státní organizace.

Optimální parametry a trasování železniční dopravní cesty - typizace tratí a jejich úprav

Ing. David Vodák

ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů

Konviktská 20, 110 00 Praha 1

e-mail: vodakdav@fd.cvut.cz

Abstrakt

Předmětem článku „Optimální parametry a trasování železniční dopravní cesty - typizace tratí a jejich úprav“ je návrh kategorizace železničních tratí a jejich úprav za účelem nalezení vhodného přístupu pro stanovení optimálních parametrů železniční tratě mezi dvěma zadanými místy. Tím je myšleno nalezení takové skladby parametrů, která bude odpovídat významu předmětné spojnice a požadavkům, které jsou na infrastrukturu kladeny.

Klíčová slova

Železniční trať, parametry, modernizace, optimalizace, studie proveditelnosti, dopravní modelování, přepravní prognóza, kategorie železniční trati.

Optimal parameters and routing of railway lines - categories of railway lines and their modifications

Abstract

The aim of the article „Optimal parameters and routing of railway lines - categories of railway lines and their modifications“ is to design categories of railway lines and their modifications, so it could be used as an algorithm for establishment of ideal parameters of railway lines reconstructions that means to find the best group of parameters, which are going to fit the needs of individual connection.

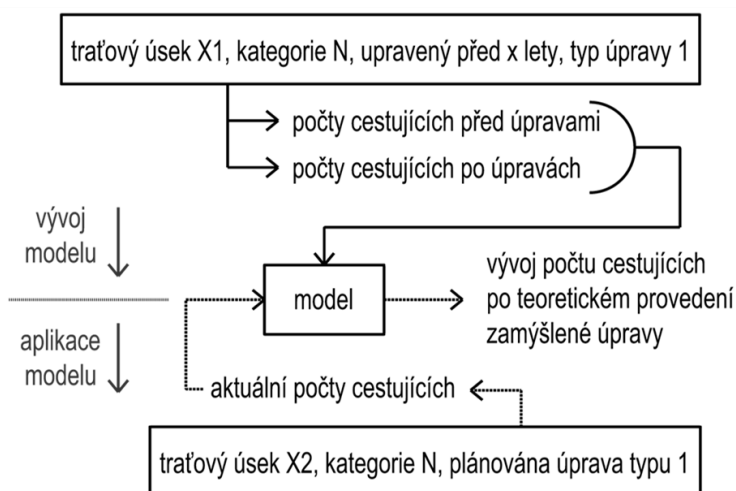
Keywords

Railway line, parameters, modernization, optimisation, feasibility study, transport modelling, transport prognosis, category of railway line

1. Úvod

Předmětem článku „Optimální parametry a trasování železniční dopravní cesty - typizace tratí a jejich úprav“ je návrh kategorizace železničních tratí a jejich úprav za účelem nalezení vhodného přístupu pro stanovení optimálních parametrů železniční tratě mezi dvěma zadanými místy. Tím je myšleno nalezení takové skladby parametrů, která bude odpovídat významu předmětné spojnice a požadavkům, které jsou na infrastrukturu kladeny. Tento článek zároveň navazuje a rozvíjí příspěvek z loňského ročníku konference – „Stanovení optimálních parametrů úprav železničních tratí“.

Navržená typizace železničních tratí se stane základním stavebním kamenem modelu pro zjišťování vztahu mezi parametry úprav železničních tratí a počty přepravených cestujících. Úspěšné zkoumání tohoto vztahu je základním předpokladem pro efektivní návrh optimálních parametrů železniční dopravní cesty. Základní myšlenkou je nastavení zamýšleného modelu podle traťových úseků, které již byly upraveny. U takového úseku totiž známe vývoj počtu cestujících před a po úpravách, typ úpravy a charakteristiku daného úseku (kategorie dráhy, její poloha v železniční síti, role v dopravní obsluze). V charakteristice úseku nesmí zůstat opomenuta kvalita nabídky přepravy, neboť i ta zásadně ovlivňuje počty cestujících, aby tak nedošlo ke vzájemné záměně vlivů z provozu a z infrastruktury. S použitím metod stochastického modelování potom lze sestavit model, který na základě počtu cestujících před úpravou, charakteristiky daného úseku a typu úprav bude schopen simulovat vývoj cestujících po provedení zamýšlených úprav. Grafické znázornění postupu zamýšleného modelu je na obrázku 1 zjednodušeným vývojovým diagramem.



Obr. 1 - Vývojový diagram zamýšleného postupu

Z výše uvedené základní charakteristiky modelu přímo vyplývá prvotní rozdělení železničních tratí – tratě vzorové a modelované. Vzorová trať je trať, která již byla upravena, a na základě z ní získaných dat je provedeno vhodné nastavení modelu. Modelovaná trať je trať, u níž se plánuje úprava, a na které se provádí modelování na základě dat získaných ze vzorové tratě.

Pro úspěšné modelování je nezbytné v rámci konkrétního scénáře nalézt vhodnou dvojici tratí se stejnou kategorií a stejnými parametry úprav. Navržená typizace tratí a jejich úprav by se měla stát efektivním nástrojem právě pro nalezení zmíněné dvojice.

V rámci typizace tratí nebude přihlíženo pouze na konvenční způsoby kategorizace dle legislativy (TEN-T, celostátní, regionální), ale bude zohledněna i role železniční tratě v dopravní obsluze území (spojnice krajských měst, napojení regionálního spádového centra na krajské město, atp.).

Kategorizace úprav bude zohledňovat široký vějíř variant od novostaveb až po investičně nejméně náročné varianty.

Izolování vztahu mezi počtem cestujících a parametry úprav infrastruktury je součástí vědeckého výzkumu v rámci grantu č. SGS20/138/OHK2/2T/16 Stanovení a optimální využití parametrů železniční dopravní cesty Studentské grantové soutěže ČVUT v Praze a zároveň je součástí autorovy disertační práce.

2. Hlavní parametry železniční dopravní cesty

Hlavní parametry železniční dopravní cesty z pohledu jejich možných úprav můžeme rozdělit do následujících skupin:

- trasování,
- počet traťových kolejí/četnost dopraven na daném traťovém úseku,
- konstrukce železniční trati,
- technologické a řídicí systémy.

Problematika návrhových parametrů železničních staveb je v současné době řešena zejména v interních předpisech a směrnících Správy železniční dopravní cesty, s. o., českých technických normách, technických normách železnic a předpisech a vzorových listech SŽDC. Ve smyslu těchto dokumentů lze železniční infrastrukturu rozdělit do následujících skupin:

- celostátní dráha zařazená do systému TEN-T,
- celostátní dráha nezařazená do systému TEN-T,
- regionální dráhy.

V souladu s příslušným dokumentem je každé skupině přiřazen postup při určování rozsahu a úrovně rekonstrukčních úprav.

2.1. Celostátní tratě zařazené do systému TEN-T

Rekonstrukci železničních tratí patřících do této skupiny lze provádět zejména dvěma způsoby: modernizací tratě a uvedením tratě do optimalizovaného stavu (dále jen „optimalizace“).

*„**Modernizace** je souhrn opatření, která umožňují na dané trati zvýšení největší traťové rychlosti do 160 km/h včetně (s případnou stavební připraveností na rychlost vyšší, pokud se neúměrně nezvyšují investiční náklady), dosažení požadované třídy zatížení, dosažení požadované prostorové průchodnosti a provoz jednotek s naklápěcími skříněmi. ... Modernizace tratě zahrnuje termínově provázaná stavební opatření typu rekonstrukcí, přeložek a novostaveb na souvislém úseku tratě.“ [1 – s. 5]*

*„**Optimalizace** je souhrn opatření, která umožňují na dané trati zpravidla na stávajícím zemním tělese dosažení požadované třídy zatížení, dosažení požadované prostorové průchodnosti, odstranění lokálních omezení traťové rychlosti a případně též provoz jednotek s naklápěcími skříněmi.“ [1 – s. 5]*

Nutno však podotknout, že v praxi často dochází k prolínání obou možností. Mnohdy se v rámci některých optimalizací provádí razantnější úpravy než u některých modernizací. Obecně však lze říci, že výše uvedené dělení ve většině případů platí.

2.2. Celostátní dráhy nezařazené do systému TEN-T

U tratí této skupiny nenalezneme tak striktní rozdělení a popis úprav, jako u předchozí skupiny. Míra úprav infrastruktury je vždy dána místními podmínkami, pozicí daného úseku v širším koncepčním rámci a dopravně-technologickým posouzením.

2.3. Regionální dráhy

Obdobně jako u předchozí skupiny nejsou možné úpravy striktně kategorizovány. Mezi základní cíle rekonstrukcí regionálních drah patří zejména:

- „zvýšení bezpečnosti provozu,
- zvýšení bezpečnosti pohybu cestujících v kolejištích,
- zajištění technického stavu infrastruktury podle požadavků platných předpisů,
- minimalizace nákladů na zajištění provozuschopnosti železniční dopravní cesty,
- minimalizace nákladů na provozování železniční dopravní cesty,
- zvýšení cestovní rychlosti.“ [3 – s. 7]

Rekonstrukce regionálních drah často probíhá formou tzv. **revitalizací**. Jedná se o souhrn úprav, které zpravidla zahrnují:

- výměnu ucelených úseků železničního svršku,
- lokální sanace železničního spodku s úpravou dotčených staveb železničního spodku,
- opravy dopravních a přepravních stanišť (s důrazem na zřízení bezbariérového přístupu),
- modernizaci řídicích systémů s důrazem na aplikaci dálkového řízení.

Přesný obsah těchto rekonstrukcí nelze stanovit, neboť vždy vychází z místních podmínek.

3. Typizace tratí

Před tím, než bude přistoupeno k detailnějšímu návrhu typizace, je vhodné provést užší definici pojmu trať. Tento pojem může být vnímán v mnoha souvislostech, ze kterých plyne mnoho definic (trať dle číslování v knižním jízdním řádu, trať dle číslování v prohlášení o dráze atp.). V rámci navrhovaného modelu bude tímto pojmem myšlen zvolený úsek železniční sítě, jehož volba je podřízena potřebám modelu za účelem toho, aby bylo dosaženo co nejrelevantnějších výsledků. Může tak nastat situace, kdy v prostředí modelu bude definována trať, která je dle některého z v praxi zavedených rozdělení pouze částí tratě nebo naopak souborem několika tratí.

3.1. Kategorie tratí z hlediska jejich významu a potenciálu

Pro účely modelování je v první řadě nezbytně nutné rozdělit tratě do kategorií, které budou charakterizovat jejich význam a potenciál pro fungování v rámci dopravní obsluhy obyvatelstva. Pro tyto účely není vhodné využívat „standardní“ dělení na dráhy celostátní v rámci TEN-T, celostátní mimo TEN-T a regionální, protože toto dělení neumí vždy vystihnout význam dané tratě pro dopravní obsluhu obyvatelstva (regionální dráha může spojoval významnější sídla než dráha celostátní). Pro potřeby modelu je navržena kategorizace tratí z hlediska topologie dopravní sítě a hierarchizace sídel. Uvažovány jsou následující kategorie:

1. Spojnice hlavního města s krajským městem
2. Spojnice hlavního města s regionálním spádovým centrem³ (nebo jiným sídlem s nižším významem)
3. Spojnice krajského města s krajským městem

³ bývalé okresní město, město se statutem obce s rozšířenou působností, atp.

4. Spojnice krajského města s regionálním spádovým centrem (nebo jiným sídlem s nižším významem)
5. Spojnice dvou regionálních spádových center (nebo jiných sídel s nižším významem)

3.2. Kategorie tratí z hlediska jejich technické vyspělosti

Pro správnou identifikaci přínosů úprav zkoumané tratě je nezbytné správně zhodnotit stávající stav tratě z hlediska trasování a stávajících cestovních dob. Pro zhodnocení těchto parametrů a kategorizaci tratí nejlépe poslouží rozdělení do rychlostních pásem.

- I. Traťová rychlost do 60 km/h – do této kategorie spadá většina tratí regionálního charakteru před provedením významnějších investičních úprav.
- II. Traťová rychlost 61–80 km/h – v tomto pásmu můžeme najít zejména tratě regionálního charakteru s velkorysejším trasováním a naopak tratě nadregionálního významu s úspornějším trasováním.
- III. Traťová rychlost 81–100 km/h – sem spadá většina tratí s národním/nadnárodním významem před provedením investičních úprav.

3.3. Kategorie úprav tratí

Pro kategorizaci úprav tratí bude částečně převzata terminologie, která je využívána v praxi, ovšem s přísnějším a jasnějším vymezením náplně jednotlivých úprav (název úpravy v praxi vždy neodpovídá skutečně provedeným úpravám – např. některé optimalizace jsou svým rozsahem spíše modernizacemi atp.).

3.3.1. Novostavba

Tato kategorie úprav zahrnuje výstavbu zcela nové trati a opuštění stávající stopy. Jedná se o nejnáročnější úpravu (z hlediska nákladů, projektové přípravy a výstavby), která by však měla přinést nejrazantnější zlepšení parametrů.

3.3.2. Modernizace

Jedná se o soubor stavebních úprav, jejichž účelem je docílit zvýšení rychlosti formou kombinace přeložek stávajících úseků do nové stopy a rekonstrukcí úseků vedených ve stávající stopě. Pro zařazení úpravy

tratě do této kategorie by mělo dojít ke zvýšení průměrné traťové rychlosti⁴ alespoň o 50 %.

3.3.3. Optimalizace

Jedná se o soubor stavebních úprav, jejichž účelem je docílit zvýšení rychlosti formou rekonstrukce trati ve stávající stopě. Pro zařazení do této kategorie by mělo dojít ke zvýšení průměrné traťové rychlosti alespoň o 25 %.

3.3.4. Revitalizace

Jedná se o soubor stavebních úprav, jejichž účelem je docílit zvýšení rychlosti formou rekonstrukce vybraných úseků a systémů řízení železniční dopravy.

3.4. Kódové označení scénáře

Pro usnadnění orientace v jednotlivých situacích (scénářích), které mohou nastat, tím je myšleno označení dvojice kategorie tratě a kategorie úpravy, je zavedeno třímístné kódové značení. Arabská číslice na prvním místě označuje kategorii tratě z hlediska jejího významu a potenciálu, římská číslice na druhém popisuje trať z hlediska stávajícího trasování a cestovní doby a písmeno na třetím místě označuje kategorii zamýšlené nebo provedené úpravy.

Je důležité si uvědomit, že v modelu budou tyto scénáře figurovat ve dvou zásadních rolích – pro vzorové a modelované tratě. V prvním případě se bude jednat o tratě, na kterých již došlo k provedení úprav a na základě kterých nastavujeme náš model. V takovém případě nám druhý symbol kódu tratě popisuje trasování a cestovní doby před provedením úprav a třetí symbol popisuje úpravu, která již byla provedena. Ve druhém případě se jedná o trať, která ještě nebyla upravena a u které chceme modelovat počty cestujících po provedení úprav, tady nám třetí symbol kódu označuje zamýšlenou kategorii úprav.

3.4. Shrnutí

Pro větší názornost navržené typizace je nyní vhodné dosadit konkrétní tratě. Jako příklad lze uvést hypotetický záměr revitalizace trati Olbramovice – Sedlčany. Pro ověření efektivity takové investice a jejího dopadu na přepravní proudy je nutné tento budoucí scénář vhodně

⁴ Veličina vypočtená z hodnot traťové rychlosti a délek úseků, na kterých je této rychlosti možné dosáhnout.

namodelovat. Zásadní podmínkou pro pokračování je však znalost přepravních proudů na vybrané trati.

Z hlediska kategorizace tratí dle významu se jedná o trať kategorie 5. Aktuální technická vyspělost tratě ji zařazuje do kategorie I. Kódový znak tohoto scénáře tak bude 5IR. Pro správné fungování modelu nyní musíme nalézt trať se stejným kódovým označením, která již byla upravena a ze které jsou k dispozici data o přepravních proudech před a po provedení úpravy. Takovou tratí je trať Rokycany – Mirošov. Tento modelový scénář je přehledně zobrazen v tabulce 1.

Tabulka 1 - Příkladový scénář

scénář 5IR			
	vzorová trať:	modelovaná trať:	
	<u>Rokycany – Mirošov</u>	<u>Sedlčany - Olbramovice</u>	
kategorie dle významu a potenciálu	spojnice dvou regionálních spádových center (nebo jiných sídel s nižším významem)	spojnice dvou regionálních spádových center (nebo jiných sídel s nižším významem)	5
kategorie dle technické vyspělosti	Traťová rychlost do 60 km/h	Traťová rychlost do 60 km/h	I
typ úpravy	revitalizace	revitalizace	R

4. Závěr

Navržená typizace tratí poskytuje kvalitní základ pro úspěšné vytvoření funkčního modelu závislosti mezi počtem cestujících a parametry úprav infrastruktury. Předpokládané výstupy modelu by mohly vést k výrazným inovacím v oblasti plánování rozvoje železniční infrastruktury.

Literatura

- [1] Zásady modernizace a optimalizace vybrané železniční sítě České republiky (směrnice generálního ředitele č. 16/2005), SŽDC, 2006.
- [2] Zásady rekonstrukce celostátních drah České republiky nezařazených do evropského železničního systému (směrnice č. 30), SŽDC, 2008.
- [3] Zásady rekonstrukce regionálních drah (směrnice č. 32), SŽDC, 2008.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory Studentské grantové soutěže ČVUT v Praze v rámci projektu č. SGS20/138/OHK2/2T/16 Stanovení a optimální využití parametrů železniční dopravní cesty.

Opotrebenie koľajníc v konštrukciách koľajových dráh Železníc Slovenskej republiky

Bc. Erik Vrchovník¹, Ing. Ján Urda²

Stavebná fakulta UNIZA, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina
ŽSR – Výskumný a vývojový ústav železníc, 1. mája 34, 010 02 Žilina

e-mail_1: vrchovsky@stud.uniza.sk

e-mail_2: Urda.Jan@zsr.sk

Abstrakt

Príspevok prezentuje prehľad normatívov týkajúcich sa koľajníc a ich opotrebovania, metódy diagnostiky a hodnotenia tvaru koľajníc v priečnom profile v Slovenskej republike. Na príklade výsledkov prevádzkového overovania je opísaná diagnostika tvaru priečného profilu koľajníc dvoma meracími zariadeniami na úseku trate ŽSR: Vrútky – Varín a sú prezentované výsledky hodnotenia a ich porovnanie.

Klíčové slová

koľajnica, opotrebovanie, priečny profil koľajnice, laserové meranie.

Rail Wear of Railroad Structures in Railway Slovakia

Abstract

The paper presents an overview of standards concerning rails and their wear, methods of diagnostics and evaluation of the shape of rails in Slovak Republic. The diagnostics of the shape of cross-section of the rails by two measuring devices on the section of the ŽSR line: Vrútky – Varín is described on the example of the results of the operational verification and the results of the evaluation and their comparison are presented.

Keywords

Rail, Wear, Rail Cross - Section , Laser Measurements.

1. Úvod

Aby sa zabezpečila bezpečnosť a plynulosť železničnej dopravy, musí sa celá konštrukcia jazdnej dráhy pravidelne kontrolovať. Koľajnica, ako nosný konštrukčný prvok v jazdnej dráhe, je kontrolovaná (diagnostikovaná) z hľadiska kvality materiálu (homogenita, celistvosť) aj geometrie (tvar koľajnicového pásu, tvar priečného profilu, mikrogeometria hlavy). Na kvalitu vplývajú účinky dopravného a nedopravného zaťaženia, ktoré sa v priečnom profile koľajnice prejavujú ako opotrebovanie (úbytok materiálu) v oblasti hlavy koľajnice. Manažéri železničnej infraštruktúry využívajú rôzne metódy merania a hodnotenia koľajnice pomocou rôznych diagnostických prostriedkov.

Diagnostiku geometrie koľajnic realizuje v Slovenskej republike manažér železničnej infraštruktúry Železnice Slovenskej republiky (ŽSR), konkrétne vnútorná organizačná jednotka Výskumný a vývojový ústav železníc (VVÚŽ), na viac ako 3 600 km železničných tratí.

2. Opotrebovanie koľajnic

Kvalita koľajnice sa znižuje vplyvom počasia (najmä zrážok – korózia) a dopravným zaťažením (kontakt kolesa a koľajnice – opotrebovanie). Opotrebovanie (hlavy koľajnice) vzniká v mieste kontaktu kolies pohybujúcich sa koľajových vozidiel, pričom dochádza k zmene pôvodného geometrického tvaru koľajnice [1].

Opotrebovanie hlavy koľajnice je spôsobené trením kolesa pri pohybe koľajového vozidla po koľajnicovom pásu. Spôsob opotrebovania je závislý na konštrukčnom a geometrickom usporiadaní koľaje.

Opotrebovanie hlavy koľajnice je definované ako:

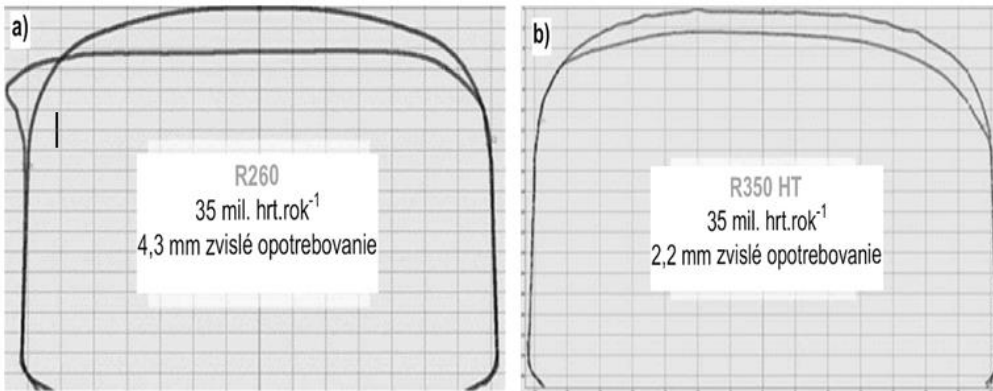
- zvislé,
- bočné,
- zrovnané v zmysle predpisu [2].

Bočné opotrebovanie môže:

- viesť k vykoľajeniu vozidiel,
- viesť k nadmernému zväčšeniu rozchodu,
- vyvolať lom koľajnice z dôvodu oslabenia profilu [3].

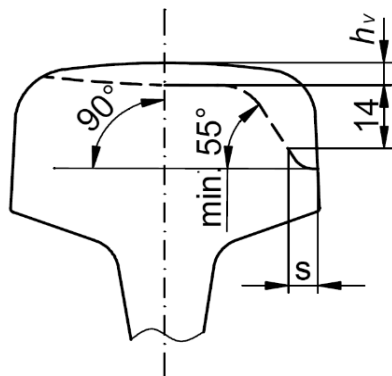
Veľkosť opotrebovania a rýchlosť jeho progresie je závislé na intenzite prevádzky, prevádzkovom zaťažení, na kvalite ocele použitej pri výrobe koľajnice a na tvare prierezu hlavy koľajnice. Ako príklad môžeme uviesť použitie rozdielnej kvality ocele koľajnic na železničnej trati v Anglicku. Pôvodné koľajnice boli z ocele R260, avšak pri prevezenej hmotnosti $35 \text{ mil.hrt.rok}^{-1}$, už po dvoch rokoch koľajnice vykazovali chyby ako napríklad roztlačenie hlavy koľajnice (obr. 1 – a).

Z tohto dôvodu boli použité koľajnice z ocele R350HT, a tým sa eliminovali chyby a poškodenia (obr. 1 – b)) [4].



Obr.1 - Porovnanie priečného profilu hlavy koľajnice z ocele a) R260, b) R350 HT [4]

Hodnota zvislého opotrebovania h_v je meraná v osi koľajnicového profilu k základnému rozmeru koľajnice (obr. 2). V smerových oblúkoch dochádza okrem zvislého opotrebovania aj k bočnému opotrebovaniu koľajníc. Bočné opotrebovanie s sa meria 14 mm pod temenom opotrebovanej (šírokopätnej) koľajnice. V prípade súčasného zvislého a bočného opotrebovania koľajnice hovoríme o zrovnanom opotrebovaní. Prípustné bočné opotrebovanie je tiež vyjadrené aj hodnotou bočného sklonu opotrebovanej plochy hlavy koľajnice meranej od roviny päty koľajnice. V prevádzke je dovolené ponechať koľajnice za podmienok dodržania bočného sklonu opotrebovanej plochy hlavy koľajnice najmenej 55° od roviny päty koľajnice. Maximálne dovolené hodnoty opotrebovania závisia od tvaru koľajnice a pre podmienky ŽSR sú uvedené v (tab. 1) [2].



Obr. 2 - Schéma opotrebovania hlavy koľajnice [2]

Výpočet zrovnaného opotrebovania

Zrovnané opotrebovanie sa v zmysle [2] vypočíta ako súčet výškového opotrebovania a 40 % bočného opotrebovania (vzorec 1):

$$h = h_v + 0,4 \cdot s \text{ (mm)} \quad (1)$$

h – zrovnané opotrebovanie hlavy koľajnice (mm),

h_v – výškové opotrebovanie (mm), merané v osi koľajnice (obr. 2),

s – bočné opotrebovanie (mm), merané vodorovne v úrovni 14 mm pod temenom opotrebovanej koľajnice (obr. 2).

Vypočítaná hodnota zrovnaného opotrebovania sa zaokrúhli na celé mm, a to do 0,4 mm dole, od 0,5 mm hore.

3. Diagnostika priečného profilu koľajníc

Na diagnostiku priečných profilov koľajníc sa používajú **diagnostické zariadenia** umožňujúce uskutočňovať **metódy** bodového alebo kontinuálneho merania. Medzi **bodovo merajúce** zariadenia patria zariadenia merajúce tvar koľajnice pomocou lamiel či ihlíc, merajúce priamo hodnoty úbytku materiálu (opotrebovanie), prípadne zaznamenávajúce tvar koľajnice prostredníctvom vysielania a snímania odrazu svetelných lúčov.

Diagnostika pomocou **kontinuálnej metódy** je realizovaná bez vzájomného kontaktu snímača a koľajnice. Umožňuje merať priečne profily koľajníc na dlhých úsekoch bez potreby výluk. Takúto diagnostiku ŽSR vykonáva pomocou meracích jednotiek Maďarských železníc (MÁV).

Metodiky merania a hodnotenia koľajníc v priečnom profile na ŽSR sú opísané predovšetkým v nasledujúcich dokumentoch:

- *Predpis ŽSR TS 3 Železničný zvršok (Piata časť. Koľajnice) z roku 2012.*
- *Metodické usmernenie riaditeľa Odboru železničných tratí a stavieb Generálneho riaditeľstva ŽSR ku kontrole stavieb a technických zariadení železničných tratí a stavieb z roku 2014.*

Tab. 1 - Najväčšie dovolené opotrebovanie koľajníc na sieti ŽSR [2]

Najväčšie dovolené opotrebovanie	Koľajnice (tvar)			
	49 E1 60 E1 60 E2	R65	A	Xa
Zvislé opotrebovanie (mm) (ak sú koľajnice opotrebované len zvislo)	20	18	20	17
Pri opotrebovaní zvislom aj bočnom je dovolené opotrebovanie (mm)				
a) zvislé	14	14	12	10
b) bočné	18	18	18	14

Na ŽSR nie je žiadnym predpisom určený interval merania priečného profilu koľajnice. Súvisí to predovšetkým s tým, že ŽSR nedisponuje vlastným diagnostickým prostriedkom, ktorý umožňuje takéto merania realizovať kontinuálnou metódou. Normatív [5] však určuje charakteristiky merania a vyhodnotenia opotrebovania koľajníc v oblúkoch s viditeľným bočným opotrebovaním (> 5 mm), a to 1x za rok, pričom meranie môže byť realizované kontinuálnou alebo bodovou metódou.

Diagnostické zariadenia používané v sieti ŽSR

Fričov prístroj (ihlicové meradlo) (obr. 3) je zariadením, ktorým je realizovaná ručná bodová diagnostika. Tvar koľajníc je zisťovaný prostredníctvom meracích ihlíc (štyrmi, piatimi alebo šiestimi), ktoré sa pritlačia k hlave koľajnice. Opotrebovanie, odčítané v bodoch ihlíc, sa vykreslí a z grafickej schémy sa určia hodnoty opotrebovaní v požadovaných miestach priečného profilu koľajnice (kap. 2) [6].

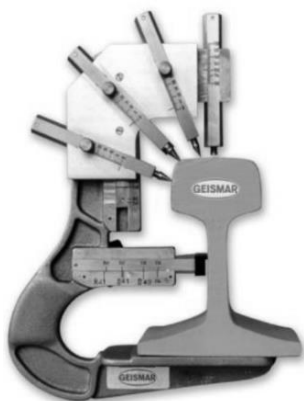
Posuvné meradlo (obr. 4) umožňuje priamo merať výškové, bočné opotrebovanie koľajnice a zároveň aj uhol opotrebovania.

Elektronický laserový profilomer PRP-BT (obr. 7) je bezdotykové diagnostické zariadenie používané na meranie priečných profilov koľajníc pomocou vysielania laserového lúča a záznamu jeho odrazu od koľajnicového profilu [6].

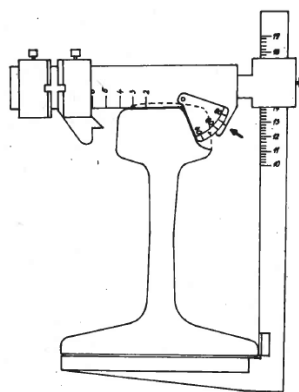
Calipri C42 (obr. 8) je kompaktný bezkontaktný merací systém. Zariadenie využíva technológiu merania pomocou vysielania troch laserových lúčov, ktorých odraz od povrchu koľajnice je zachytávaný kamerou. Prístroj je prepojený s tabletom, ktorý zhromažďuje a vyhodnocuje namerané dáta a čiastočne ovláda meracie zariadenie [7].

Prístroj CONTOUR (obr. 5) je laserové meracie zariadenie určené na bezkontaktné kontinuálne meranie priečných profilov jazykov a srdcoviek vo výhybkách, ktorým je možné merať aj priečný profil koľajníc [8].

Merací vlak sa využíva na kontinuálnu diagnostiku koľajnicových pásov. V podmienkach ŽSR je to zariadenie od externého dodávateľa MÁV. Meranie sa vykonáva pri rýchlosti $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.



Obr. 3 - Fričov prístroj



Obr. 4 - Posuvné meradlo [1]



Obr. 5 – Prístroj CONTOUR [6]

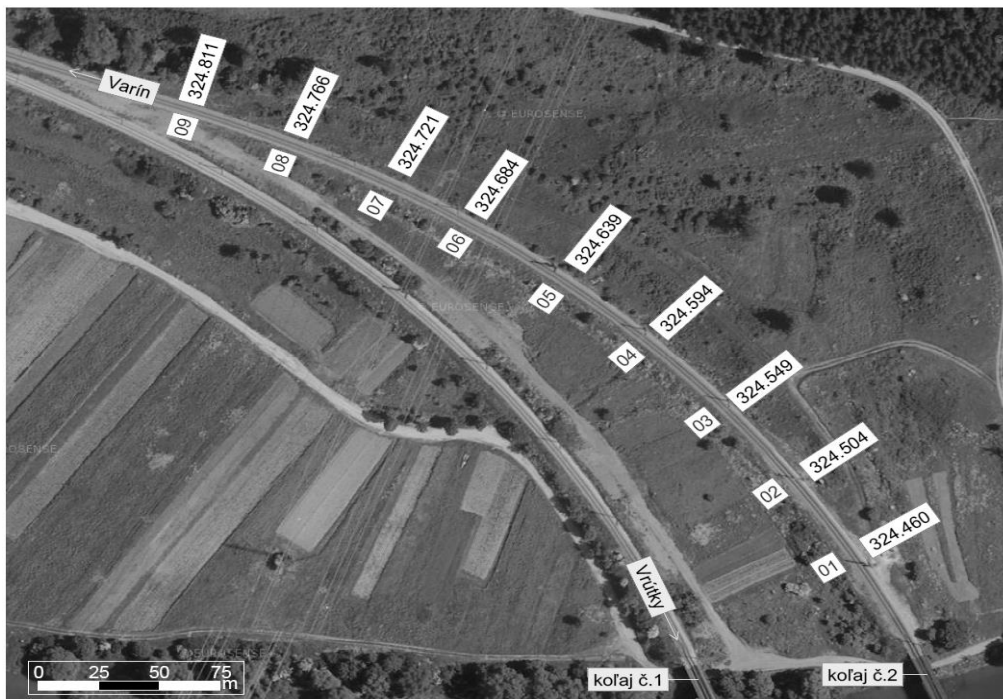
4. Prevádzkové overovanie tvaru priečného profilu koľajníc

Prevádzkové meranie a vyhodnotenie tvaru priečného profilu koľajníc sa uskutočnilo v spolupráci s VVÚŽ dňa 13.05.2020 a 18.05.2020 v koľaji č. 2 na pravom (vonkajšom) koľajnicovom páse, v žkm 324,460 až 324,811 (obr. 6).

Železničný zvršok diagnostikovaného úseku je tvorený koľajnicami 60 E2 z ocele kvality R320Cr uloženými na železobetónových podvaloch SB8P.

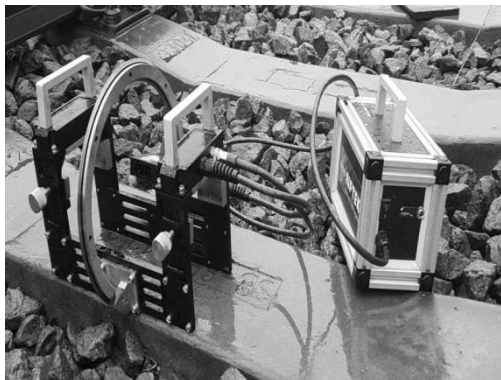
Tento úsek VVÚŽ využívá na pravidelné prevádzkové overovanie parametrov kvality železničnej jazdnej dráhy. Meranie priečného profilu koľajníc sa vyhodnocuje každoročne, no z dôvodu výmeny koľajnícových pásov v roku 2019 nie je možné pre súčasné zabudované koľajnice zatiaľ porovnať výsledné hodnoty opotrebovania zistené zo starších meraní.

Parametre koľaje v meranom úseku sú nasledovné: rýchlostné pásmo RP3, rýchlosť $V = 90 \text{ km/h}^{-1}$, polomer oblúka $r = 447,184 \text{ m}$, prevýšenie koľaje $p = 143 \text{ mm}$, dĺžka kružnicovej časti oblúka $do = 307,350 \text{ m}$, sklon koľaje $s = -1,896 \text{ ‰}$



Obr. 6 - Mapa miest meraní [mapy.cz + vlastné spracovanie]

Na diagnostiku sa použili 2 zariadenia. Prvým zariadením bol elektronický laserový profilomer PRP-BT (obr. 7). Druhým zariadením bol prístroj Calipri C42 (obr. 8). VVÚŽ používa prvé zariadenie od roku 2015 a druhé zariadenie od roku 2019.



Obr. 7 - PRP-BT [foto: autor]



Obr. 8 - Calipri C42 [foto: autor]

Prístroj PRP-BT dokáže zaznamenať 6 parametrov. Prístroj Calipri C42 dokáže zaznamenať až 9 parametrov. Hodnoty zvislého (h_v), bočného (s), zrovnaného opotrebovania (h) a uhol opotrebovania sú v zmysle [2] pre ŽSR smerodajné.

Tab. 2 - Hodnoty geometrických parametrov priečných profilov koľajníc

PRP-BT										
	bod 1	bod 2	bod 3	bod 4	bod 5	bod 6	bod 7	bod 8	bod 9	priemer
h_v (mm)	0,12	0,58	0,49	0,52	0,43	0,44	0,41	0,35	0,37	0,41
s (mm)	0,63	0,78	1,06	1	1,23	1,24	1,31	0,83	0,65	0,97
Uhol opotrebovania (°)	73	72	70	72	70	71	70	75	76	72

Calipri C42										
	bod 1	bod 2	bod 3	bod 4	bod 5	bod 6	bod 7	bod 8	bod 9	priemer
h_v (mm)	0,26	0,39	0,26	0,3	0,39	0,36	0,24	0,27	0,33	0,31
s (mm)	0,73	0,57	0,96	0,79	0,94	1,06	1,17	0,65	0,65	0,84
Uhol opotrebovania (°)	70	71	70	71	71	70	71	74	74	71

Meraním bolo zistené, že priečný profil koľajníc vo všetkých bodoch merania oboma meracími zariadeniami vyhovuje požiadavkám [2]. Nízke hodnoty opotrebovania sú spôsobené krátkym časovým úsekom používania konštrukcie – výmena koľajnicových pásov bola realizovaná v roku 2019.

5. Záver

Príspevok opisuje príčiny vzniku a tvary opotrebovania koľajníc, vrátane ich dovolených hodnôt a diagnostické prístroje používané v súčasnosti na ŽSR. Praktická aplikácia diagnostiky, ktorej výsledky sú ťažiskom tohto článku, bola realizovaná na skúšobnom úseku trate ŽSR Vrútky – Varín a zameraná na geometriu koľajníc v priečnom profile. Diagnostika tvaru koľajnicových profilov je veľmi dôležitá pre včasnú

identifikáciu chýb koľajníc no aj geometrie koľaje (rozchod koľaje) a s tým súvisiacou kvalitou jazdy železničných vozidiel.

Aby mohla byť vykonávaná na celej sieti ŽSR pravidelne, musí manažér infraštruktúry disponovať diagnostickým zariadením (koľajovým vozidlom), vybaveným systémom na kontinuálne meranie, záznam a vyhodnocovanie priečného profilu koľajníc. Kontinuálne meranie umožní diagnostikovať čo najdlhšie úseky koľají a zvýšená frekvencia meraní pomôže vylepšiť databázu dát diagnostiky cieľnú nielen na okamžité hodnotenie, ale aj na predikciu vývoja tvaru a rýchlosti opotrebovania koľajníc.

Samotným meraním a vyhodnocovaním sa však problematika nekončí. Aby mohlo ŽSR plnohodnotne kontrolovať stav svojich konštrukcií, musí mať k dispozícii informácie o všetkých dátach diagnostiky a ich hodnoteniach na jednom mieste. Dlhodobá archivácia dát na serveroch po pripojení umožní porovnanie výsledkov z rôznych miest v rôznom čase. Inšpiráciou pre vybudovanie a prevádzkovanie veľkého dátového skladu by mohol byť diagnostický systém, ktorý používa Správa železníc v Českej republike alebo MÁV v Maďarsku.

Literatúra

- [1] IŽVOLT, L. - ŠESTÁKOVÁ, J. – ŠMALO, M.: Železničné stavitel'stvo 2 (Diagnostika, mechanizácia prác a technologické postupy údržby železničnej jazdnej dráhy), vysokoškolská učebnica, EDIS - Vydavateľstvo ŽU v Žiline, 2015, ISBN 978-80-554-1169-9.
- [2] Predpis ŽSR TS 3, 2012. *Železničný zvršok*.
- [3] Predpis ŽSR S 3-3, 2005. *Chyby koľajníc*.
- [4] BRITISH STEEL. *High performance rail for the long haul* [online]. [cit. 2020-04-18]. Dostupné na: <https://britishsteel.co.uk/what-weve-done/rail/heavy-haul-high-performance-rail/>
- [5] *Metodické usmernenie riaditeľa odboru železničných tratí a stavieb GR ŽSR ku kontrole stavieb a technických zariadení železničných tratí a stavieb, 2014*.
- [6] Predpis ŽSR TS 103-5, 2020. *Meranie výhybiek*.
- [7] NOVÁK, P.: *Problematika vzťahu dvojkolí-kolej v podmínkách metra DP hl. m. Prahy* [online]. Pardubice, 2016 [cit. 2020-04-26]. Dostupné na: <https://theses.cz/id/algplp>. Diplomová práca. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedúci práce Jaromír Zelenka.
- [8] URDA, J.: *Vplyv brúsenia pojazdných súčastí výhybiek na ich opotrebovanie*. Košice, 2016. Písomný referát k dizertačnej práci. Technická univerzita v Košiciach. Stavebná fakulta. Katedra geotechniky a dopravného stavitel'stva. Vedúci práce Ján Mandula.

Název: Sborník příspěvků konference Želva 2020

Editor: Zuzana Mašková

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze

Zpracovala: Fakulta stavební

Katedra železničních staveb

Thákurova 7, Praha 6 – Dejvice, 166 29

(+420) 224 354 755

Tisk: Powerprint s.r.o.

Brandejsovo náměstí 1, Praha – Suchdol, 165 00

ISBN: 978-80-01-06765-9

Vydání: první

Náklad: 40 výtisků

Počet stran: 130

Praha, 2020



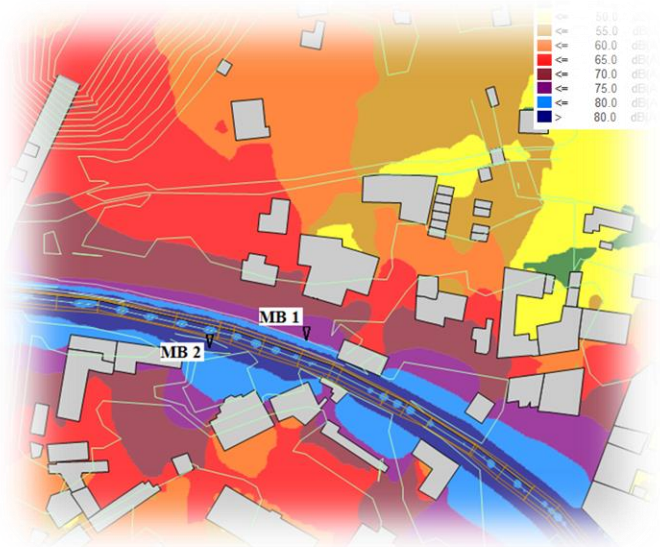
KATEDRA
ŽELEZNIČNÍCH STAVEB
FAKULTA STAVEBNÍ
ČVUT V PRAZE

**PRÁCE, VÝVOJ A MĚŘENÍ
V OBLASTI
ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU,
SPODKU A HLUKU
Z KOLEJOVÉ DOPRAVY**

**(+420) 224 355 460
K137@fsv.cvut.cz**

**KATEDRA
ŽELEZNIČNÍCH STAVEB**

Thákurova 2077/7
Praha 6 – Dejvice
166 29



ISBN 978-80-01-06765-9