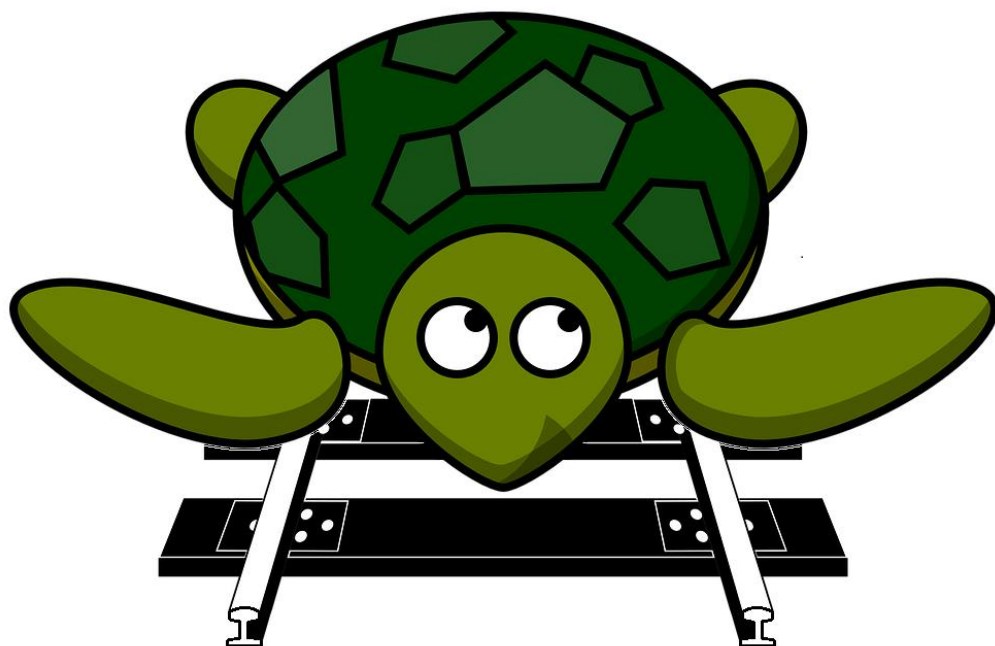


# SBORNÍK STUDENSTKÉ VĚDECKÉ KONFERENCE ŽELEZNIČNÍ VÝZKUMNÉ AKTIVITY

1. ročník

17. – 18. ZÁŘÍ 2019

CHOCEŇ



# ŽELVA 2019





# **Sborník příspěvků Želva 2019**

Studentská vědecká konference  
Železniční výzkumné aktivity

1. ročník  
17. – 18. Září 2019  
Choceň

**GARANT KONFERENCE / SUPERVISOR**

doc. Ing. Martin Lidmila, Ph.D.

**EDITOR SBORNÍKU / EDITOR**

Ing. Ondřej Bret

**PŘÍPRAVNÝ VÝBOR KONFERENCE / ORGANIZING COMMITTEE**

Ing. Ondřej Bret

Ing. Bc. Lenka Lomoz, Ph.D.

doc. Ing. Martin Lidmila, Ph.D.

**POŘADATEL**

Katedra železničních staveb, Fakulta stavební ČVUT v Praze

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

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

tel. (+420) 224 355 460

## Úvodní slovo

Vážení kolegové, milí studenti,

je mi potěšením, že právě držíte v ruce sborník 1. ročníku studentské vědecké konference Železniční výzkumné aktivity - "Želva", která je pořádána Fakultou stavební ČVUT v Praze, Katedrou železničních staveb.

Ač se společně, alespoň občas, máme možnost osobně setkat a předat si vědomosti a zkušenosti z našich výzkumných aktivit na jiných konferencích (např. Juniorstav, RDIT), cítili jsme, že v našem oboru chybí konference zaměřená přímo a pouze na problematiku kolejové dopravy s přesahem od stavařiny směrem k dalším souvisejícím oborům. To byl hlavní impulz a cíl pro podání žádosti o finanční podporu na konání takovéto konference a díky podpoře z grantového fondu Studentské vědecké konference ČVUT se můžeme letos na první - a doufejme, že ne poslední - konferenci Želva společně setkat.

Hlavním těžištěm konference je železniční a tramvajová doprava. Konference je zaměřena na aktuální trendy ve vývoji a výzkumu konstrukcí a materiálů, který probíhá na jednotlivých pracovištích účastníků vědecké konference. Sekundárním cílem konference Želva je navázat kontakty mezi mladou generací budoucích specialistů na kolejovou dopravu a vytvořit tak prostor pro vznik nových osobních vazeb s potenciálem společných výzkumných projektů.

Posílení mezifakultní, meziuniverzitní a i mezioborové spolupráce zejména doktorandů, akademických pracovníků, ale i dalších mladších nadaných studentů-diplomantů, kteří na této konferenci představí své příspěvky, bude nezbytné pro realizaci největšího železničního projektu v novodobé historii České republiky – výstavbu vysokorychlostních tratí.

Z pohledu vedoucího pořadající katedry doufám, že konference Želva umožní aktivní propojení mladých vědeckých pracovníků napříč obory typu stavitelství, dopravní technologie nebo konstrukce vozidel.

V závěru bych rád poděkoval nejen autorům jednotlivých článků, ale především všem, kteří se podíleli na přípravě 1. ročníku konference - od prvotního nápadu, přes podání grantové přihlášky, sestavení rozpočtu, přípravu webových stránek, organizaci ubytování, sazbu sborníku a další drobné práce, bez kterých by se konference v této podobě nemohla konat. S trochou odlehčení v samém závěru doufám, že Želva dostojí svému akronymu, a nepůjde jen o jednorázovou záležitost, ale bude tady ještě dlouhou řadu dalších let.

Přeji Želvě úspěšné vykoučení!

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

## Obsah – seznam příspěvků

Úvodní příspěvek – doc. Ing. Martin Lidmila, Ph.D., garant konference <b>Zkušební úseky zřízené Katedrou železničních staveb Fakulty stavební ČVUT v posledních 3 letech</b>	8
Příspěvky jsou dále ve sborníku řazeny abecedně, podle jména hlavního autora.	
Bret, O.: <b>Protihlukové stěny a clony z pohledu LCA analýzy – Městská protihluková clona jako možné využití druhotných surovin</b>	14
Brunerová, T.; Bret, O.: <b>Technické a provozní požadavky na uspořádání tramvajových vozoven</b>	24
Brynda, F.: <b>Koncepční dokumenty pro infrastrukturní stavby městské kolejové dopravy v Praze</b>	34
Černá, L.; Zbořil J.: <b>Odhad skutečného zatížení výhybek VÚŽ Velim pro optimalizaci údržby</b>	48
Dušek, E.: <b>Vývoj kvality geometrie koleje</b>	58
Javořík, T.; Týfa, L.: <b>Optimalizační nástroj dopravní obsluhy liniových železničních sítí</b>	68
Okřinová, P.; Uhlík, O.: <b>Analýza pěší dopravy nádražního uzlu Brno-Dolní nádraží</b>	78
Petýrek, M.: <b>Historie úprav zemin zemní pláně vápnem a cementem z pohledu předpisu S4</b>	86
Pieš, J.; Ižvolt, L.; Mečár, M.: <b>Verifikácia tepelno-technických charakteristík materiálov aplikovaných do konštrukcie podvalového podložia</b>	92
Pospíšil, J.: <b>Dopravní projekty propojení Asie a Evropy</b>	106

Purkart, P.; Javořík, T.; Vodák, D.: <b>Zvýšení kvality parametrů vybraných železničních tratí mimo síť TEN-T</b>	116
Seidl, J.; Zelený, V.: <b>Statistika nehodovosti tramvajových vozidel</b>	124
Valehrach, J.: <b>Návrh převýšení koleje v obloucích malých poloměrů s ohledem na rozvoj skluzových vln</b>	132
Vedral, J.: <b>Akustická kamera a hluk z tramvajové dopravy</b>	142
Vlček, J.; Lojda, V.: <b>Problematika upevňování podkladnice k úložné ploše příčného pražce</b>	150
Vodák, D.; Jacura, M.; Purkart, P.: <b>Stanovení optimálních parametrů úprav železničních tratí</b>	160
Zemanová, L.: <b>Základní charakteristiky materiálu městské protihlukové clony</b>	168

*Vydání tohoto sborníku i konání konference Železniční výzkumné aktivity – ŽELVA 2019 bylo finančně podpořeno grantem Studentské vědecké konference ČVUT v Praze, číslo grantu SVK 11/19/F1.*

Za pomoc se sazbou a editací tohoto sborníku děkuji Zuzaně Maškové a Magdaleně Křečkové.

Úvodní příspěvek konference

## **Zkušební úseky zřízené Katedrou železničních staveb Fakulty stavební ČVUT v posledních 3 letech**

doc. Ing. **Martin Lidmila**<sup>1</sup>, Ing. **Ondřej Bret**<sup>2</sup>

*Fakulta stavební ČVUT v Praze*

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

e-mail\_1: lidmila@fsv.cvut.cz,

e-mail\_2: ondrej.bret@fsv.cvut.cz

### **Abstrakt**

Příspěvek shrnuje zkušební úseky na jejichž zřízení se podílela Katedra železničních staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze v posledních třech letech. V úvodní části příspěvku je shrnuta problematika výzkumu a vývoje nových materiálů a konstrukcí a jejich ověřování v provozních nebo poloprovozních podmínkách. V hlavní části jsou katalogovým způsobem představeny zřízené zkušební úseky, smysl jejich zřízení, a zkušenosti z provozu.

### **Trial sections executed by the Department of Railway structures of the Faculty of Civil Engineering, CTU in Prague in the last three years**

#### **Abstract**

The paper summarizes the experience from the test sections, which were executed with the participation of the Department of Railway Structures of the Faculty of Civil Engineering, CTU in Prague in the last three years. The introductory part deals with the issue of research and development of new materials and structures and their verification under operational or semi-operational conditions. In the main part, there are in a catalogue way presented the established test sections, the meaning of their establishment and the experience from operation.



## Úvod

Jednou ze základních činností univerzitních pracovišť, jakým je na Fakultě stavební ČVUT v Praze i Katedra železničních staveb, je i vývoj a experimentální ověřování zcela nových konstrukcí a materiálů, jejich využití v nových oblastech, a související zkušební aplikace. Cesta a vůbec vznik nových myšlenek směrem k praktickému využití začíná různě - impulzem daným z oblasti provozu nebo podnětu provozních zaměstnanců k různým vylepšením, myšlenkou průmyslových podniků využití různých modifikací třeba již existujících produktů "novou cestou" nebo jejich inovací, nebo třeba i zcela neotřelým nápadem vzniklým při práci na akademické půdě například v laboratořích.

Ať je původ a motivace k vyzkoušení inovací jakákoli, zpravidla je cesta k zavedení do praxe v drážním světě poměrně dlouhá. Začíná rešerší problematiky, laboratorním nebo numerickým ověřováním předpokladů, výrobou a zkouškami laboratorních modelů a mnoha dalšími činnostmi, které mají za cíl potvrdit nebo vyvrátit předpoklady k možnému využití v praxi. Jako jeden z posledních kroků před praktickým využitím a uvedením inovativních výrobků nebo zavedení nových materiálů do drážního provozu je jejich dlouhodobější zkoušení a sledování na tzv. zkušebních úsecích.

Možným využitím druhotných surovin se Katedra železničních staveb zabývá dlouhodobě, neboť stavebnictví může být potenciálním spotřebitelem vhodných druhotných surovin ve významných objemech. Typickým příkladem je v tomto pohledu zejména dopravní stavitelství, kde vzhledem k velikosti kubatur lze při uplatnění druhotných surovin ušetřit značné množství přírodních zdrojů. Při vhodném použití mohou nahrazovat přírodní kamenivo (například vysokopecní struska, nebo další materiály, které již byly v minulosti použity pro tělesa náspů), nebo je lze využít pro stabilizaci zemních konstrukcí místo jiných materiálů (např. elektrárenské popílků).

K využívání druhotných surovin je však třeba přistupovat vždy s rozmyslem, a jejich použití ověřit tak, aby nebyla snížena funkčnost stavby (výrobku). Při nalezení optimálního způsobu využití však použitím druhotných surovin dochází nejen k ušetření primárních zdrojů, ale dokonce ke zlepšení funkčnosti výrobku / stavby.

V tomto příspěvku jsou představeny tři zcela rozdílné "příběhy" zkušebních úseků, které mají společné dvě věci: všechny využívají právě recyklovaných materiálů nebo druhotných surovin a na zřízení všech uvedených zkušebních úseků má svůj podíl Katedra železničních staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze.

## Městská protihluková clona

*Praha-Braník (2016), Praha-Hloubětín (2018)*

Městská protihluková clona (MPHC) je protihlukový prvek, který byl vyvinutý ve spolupráci Katedry železničních staveb Fakulty stavební a jejího dlouhodobého průmyslového partnera MONSTAV CZ, s.r.o. která se zabývá recyklací vyřazených odpadních pneumatik. Prvek je určený pro útlum hluku z tramvajové dopravy v městském prostředí, kde je na rozdíl od jiných, v současnosti používaných, prvků vhodná pro svou velmi malou výšku (jen cca 30 cm). Díky tomu je vhodná do městského prostoru, kde neruší urbanistickou strukturu místa, nenarušuje pohledové vazby a v neposlední řadě neruší ani výhled z vozidla. S ohledem ke svému umístění v blízkosti zdroje hluku u kontaktu kola a kolejnice a vhodnému provedení účinně tlumí vznikající hluk. Mezi další výhody patří díky materiálovému a konstrukčnímu řešení i možnost rychlého rozebrání v případě nutnosti zásahu IZS například u nehod, povalení osob a podobně.

První zkušební úsek o délce 24 metrů byl zřízen v roce 2016 ve spolupráci s firmou MONSTAV CZ, s.r.o v Praze-Braník. Úsek byl dlouhodobě monitorován, byla na něm prováděna akustická měření, a také unikátní cvičení s motivem záchrany osoby zaklíněné mezi clonu a vůz (obr.1). Na pozitivní zkušenosti z prvního úseku navázalo zřízení zkušebního úseku délky 55 m 2. generace v Praze-Hloubětín v roce 2018, na kterém dále probíhá dlouhodobé monitorování.

Prvek Městské protihlukové clony je zapsán jako užitný vzor UV 29893, průmyslový vzor PV 36846 v kategorii Akustické stavební prvky a na základě dalšího řízení mu byl udělen patent číslo 306948.

Lze konstatovat, že koncept MPHC se v praxi osvědčil. Zjištěný útlum se při technickém měření hluku z průjezdu tramvajových vozů pohybuje mezi cca 3,5 dB – 5 dB a stěna i při dlouhodobému vystavení všem vlivům v koleji vykazuje stálost materiálových vlastností i polohy.



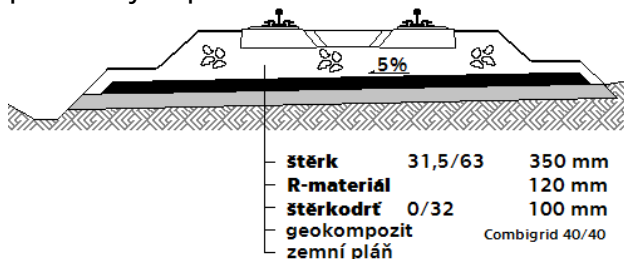
Obrázek č. 1 – Cvičení s motivem záchrany zaklíněné osoby

## Konstrukční vrstva pražcového podloží z R-materiálu

Štáhlavy (2016)

Možností využití alternativních materiálů v konstrukci pražcového podloží je na Katedře železničních staveb průběžně řešeno v rámci různých výzkumných aktivit již od roku 2000. Jednou z možných cest je i využití tzv. R-materiálu. R-materiál vzniká recyklací asfaltobetonových povrchů vozovek. Jedná se o směs vzniklou odfrézováním asfaltových vrstev nebo drcením vybouraných ker, která byla dále přetříděna na požadovanou frakci. Zřízení zkušebního úseku předcházela řada laboratorních zkoušek, zahrnující i 4 geotechnické modely v měřítku 1:1.

Pro zkušební aplikaci konstrukční vrstvy z R-materiálu byl zvolen železniční přejezd a přilehlý traťový úsek ve Štáhlavech u Plzně. Úsek má délku cca 80 m. Tento úsek byl zvolen s ohledem na dlouhodobé problémy způsobené vlivem silně zatíženého přejezdu a velmi



nepříznivého vodního režimu v tomto úseku, způsobujícího opakované problémy s udržení GPK. Využita byla směs s podílem R-materiálu 70%. Zřízení úseku proběhlo v květnu 2016.

Obrázek č. 2 – Schématický řez souvrstvím

V rámci zřízení zkušebního úseku proběhla instalace teplotních snímačů do zřízených vrstev, byly provedeny zatěžovací zkoušky, a odvrtý zkušebních těles pro další laboratorní zkoušky (pevnost, porozita, zhutnění). Tyto zkoušky doplněné případně měřením poklesu kolejnic jsou opakovány a dlouhodobě vyhodnocovány.



Obrázek č. 3 – Výstavba zkušebního úseku ve Štáhlavech

Úprava pražcového podloží s využitím vrstvy R-materiálu dosud nevykazuje žádné problémy a plní svoji funkci. Na zřízení prvního zkušebního úseku navázala obdobná úprava železničního přejezdu v Ostroměři provedená v dubnu 2019.

## Úpravy nástupišť technologií gumové stěrky

*Nezvěstice (2016), Sušice (2017), Vrchlabí (2017)*

V rámci projektu Správy železniční dopravní cesty „Zvýšení bezpečnosti cestujících veřejnosti při pohybu na nástupištích“, který řešila Katedra železničních staveb v letech 2016 -2017, proběhla postupně úprava nástupišť a dalších vybraných dopravních ploch ve třech železničních stanicích. Cílem projektu bylo ověření technologie pokládky gumového granulátu pojeného polyuretanovým pojivem - gumové granulátové stěrky na otevřená nástupiště případně jiné pochozí plochy - formou zřízení zkušebního úseku a ověřit tím možnost zvýšení bezpečnosti pohybu cestujících na těchto plochách zejména v zimním období. V další etapě probíhaly na upravených plochách série zkoušek s cílem porovnat upravená nástupiště s typickými nástupišti užívanými na síti SŽDC v různém stáří. Mimo to proběhlo sledování vlivu povětrnosti, vlivu zimního období (včetně solení), a sledování vlivu zimní údržby.

Pro zkušební aplikaci byly vybrány tři železniční stanice, které spojovalo umístění v podhůří ve vyšších nadmořských výškách. Stanice byly vytipovány s ohledem na dřívější problémy s pohybem cestujících v zimních obdobích. Úpravy tak proběhly ve stanici Nezvěstice (2016), Sušice (2017) a Vrchlabí (2017).



Obrázek č. 4 – Úprava nástupiště a přístupu ve stanici Sušice

Při zřizování gumové granulátové stěrky je klíčové dbát na technologickou kázeň a správné provedení detailů. Doba zrání stěrky od položení se pohybuje od cca 12 hodin (při slunečném počasí a teplotách vyšších než 20°C) až ke 24 hodinám při teplotách nižších. Zásadní je, aby stěrka po dobu zrání nebyla vystavena teplotám pod 5°C. Tento požadavek vyústil například ve stanici Nezvěstice, kde výstavba probíhala s ohledem na vyluku tratě v říjnu, k nutnosti stavby provizorního přístřešku na nástupiště a jeho nočnímu vytápění po dobu zrání stěrky.

Zkoušeny byly různé barevné kombinace – od čistě černého povrchu, přes probarvení druhou barvou, až po celošedé nástupiště, které bylo zkušebně zvoleno po konzultaci s organizací nevidomých a slabozrakých.

Po dobu sledování se na zkušebních úsecích projeví drobné dílčí závady, způsobené zejména ne zcela vhodným zvolením detailů při provádění. Jmenovat lze problematické provádění vrstvy na betonové panely v ose koleje sloužící jako přechod přes kolej, nebo uchycování okopových lišt k panelům (či nástupištním tvárnícím) po délce nástupiště. Tyto drobné projevené závady však napomohly odladění technologických postupů před možným nasazením v reálném provozu.

Úprava nástupišť technologií gumové granulátové stěrky plní svoji funkci. Na zřízení zkušebních úseků navázala obdobná úprava železničních nástupišť ve stanici Trutnov provedená v roce 2019.

## **Závěr**

Jak je ukázáno na výše uvedených příkladech, i záběr stavebně orientovaného akademického pracoviště může být poměrně pestrý, a zahrnovat od aplikací určených ke snížení hluku, přes inovace zaměřené na problematiku únosnosti a trvanlivosti železničního spodku, až po bezpečnost cestujících. V příspěvku byly přiblíženy zkušební úseky, na jejichž zřízení se podílela Katedra železničních staveb, Fakulty stavební ČVUT v Praze v průběhu podledních tří let. Tyto zkušební úseky však nejsou v historii této katedry první – jako příklad za všechny lze zmínit například technologii Multifunkčního gabionu, ověřovanou na zkušebním úseku v Praze-Hlubočepch.

Všechna v příspěvku uvedená inovativní řešení mají dobrý předpoklad být s většími či menšími úpravami zavedeny do praxe. Byť lze bezpochyby považovat úspěšné zřízení zkušebního úseku za jednu z nejvyšších met při výzkumu v drážním prostředí, až zavedení do praxe případně komercializace produktu je tou opravdu poslední fází vývoje. Lze doufat, že alespoň některé inovace dojdou tuto cestu až do tohoto konce.

<http://kzs.cvut.cz>

# **Protihlukové stěny a clony z pohledu LCA analýzy – Městská protihluková clona jako možné využití druhotných surovin**

Ing. **Ondřej Bret**

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

## **Abstrakt**

Životní cyklus budov a výrobků a jeho posuzování patří v současnosti s ohledem na stále větší snahu o udržitelnost výstavby a ochranu životního prostředí k rozvíjeným odvětvím. Ve stavebnictví je vzhledem k velkému objemu prací a tedy i velkému ovlivnění životního prostředí tato problematika o to důležitější. Problematikou tvorby objektivní metodiky pro posuzování vlivu na životní prostředí se tak zabývá velké množství pracovišť po celém světě.

## **Klíčová slova**

LCA, analýza životního cyklu, protihluková opatření, recyklace.

## **Noise barriers and screens from the LCA Analysis Perspective – The Municipal Noise Absorbing Screen as a possible use of secondary raw materials**

## **Abstract**

The life cycle of buildings and products and its assessment is currently one of the developing sectors in view of increasing construction sustainability efforts and environmental protection. In the construction industry, this issue is all the more important due to the high volume of work and thus the large environmental impact. In the construction industry, this issue is all the more important due to the high volume of work and thus the large environmental impact. A large number of workplaces around the world are dealing with the issue of developing an objective methodology for environmental impact assessment.

## **Keywords**

LCA, Life-cycle assessment, noise barriers, recycling.

## 1. Úvod

Životní cyklus budov a výrobků a jeho posuzování patří v současnosti s ohledem na stále větší snahu o udržitelnost výstavby a ochranu životního prostředí k rozvíjeným odvětvím - ve stavebnictví je vzhledem k velkému objemu prací a tedy i velkému ovlivnění životního prostředí tato problematika o to důležitější. V současnosti je vzhledem ke snaze chránit životní prostředí a šetřit primární zdroje kladen velký důraz na snižování objemu odpadu. Jednou z účelných cest je i třídění odpadů spojené s jeho následným využíváním, nebo využíváním jeho částí ve formě tzv. druhotných surovin. Druhotné suroviny lze obecně chápat jako *látky mající charakter vedlejších produktů (upravených odpadů), které přestaly být odpadem poté, co splnily stanovené podmínky a kritéria použití* [1].

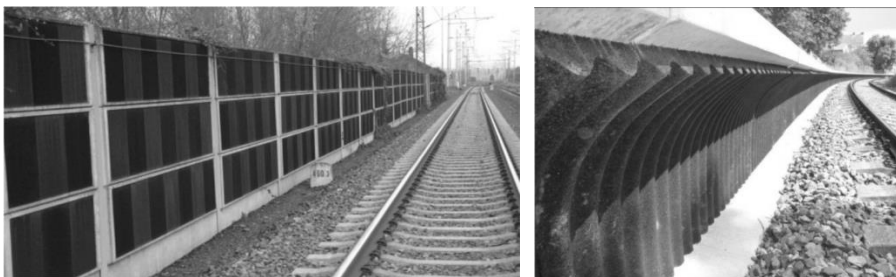
Jedním z odpadů dobře využitelných k recyklaci jsou vyřazené automobilové pneumatiky. Vyřazené pneumatiky lze považovat za typický příklad druhotné suroviny s velkým potenciálem. Jsou „produkovány“ ve velkém množství – v ČR více než 50 tisíc tun ročně [2], díky systému zpětného odběru není problém je třídit (a oddělit od dalších odpadů), a v neposlední řadě mají stálé složení, které se meziročně významně nemění.

S vyřazenými pneumatikami pak lze nakládat různě. V ČR je sice dosud nejčastější jejich energetické využití v elektrárnách, cementárnách a podobně, kde jsou využívány jako palivo (díky vysokému obsahu uhlíku [2] mají velmi velkou výhřevnost), nebo jejich skládkování, avšak postupně stoupá i jejich využití právě jako druhotného materiálu. Pro úplnost je nutné dodat, že malá část (jednotky procent objemu) zejména nákladních pneumatik je pak regenerována tzv. protektorováním a je znovu použita.

Materiálovým zpracováním pneumatik se v ČR zabývá celá řada firem. Princip recyklace pneumatik je však obdobný – vyřazené pneumatiky jsou kvůli stálosti vlastností výsledných produktů tříděny do kategorií (osobní, nákladní, od traktorů), mechanicky zpracovávány (oddělují se kovová patní lana a textil) a postupně se dělí na menší části (požadovanou frakci) podle účelu budoucího využití.

V současnosti je již na trhu široká škála výrobků využívajících pojený gumový recyklát různých frakcí [10]. Velkou výhodou pojeného granulátu je možnost různorodého tvarového provedení výrobků v závislosti na příslušné použité formě. Mezi dnes již pro stavebnictví běžně dodávané prvky patří antivibrační desky a rohože určené zejména pro dopravní stavby, bokovnice ke kolejnicím nebo pryžové obrubníky. Další, v poslední době velmi rychle se rozvíjející aplikací gumového granulátu, jsou lité gumové povrchy.

Velmi často nachází pojený gumový granulát uplatnění jako zvukově pohltivá vrstva u protihlukových stěn a clon. Využívá se zde možnost vysoké variability provedení struktury povrchu a tvoří se různé prostorové útvary snižující odraz hluku a přispívající k jeho pohlcení. Typické jsou zejména jehlany, vlny, prohlubně, lamely a další obdobné úpravy povrchu, které můžeme ze stejných důvodů najít třeba na stěnách nahrávacích studií.



Obrázek č. 1 (vlevo) – PHS s pohltivou vrstvou z gumového recyklátu  
Obrázek č. 2 (vpravo) – Nízká PHC s pohltivou vrstvou z gumového recyklátu

K jedné z prvních aplikací došlo již v letech 1996-1997 při rekonstrukci I. železničního koridoru v mezistaničním úseku Hněvice – Roudnice nad Labem. Železobetonová protihluková stěna délky 600 m je zde na straně přilehlé k železniční trati opatřena pryžovými deskami ve více konstrukčních variantách (obrázek 1). Gumový granulát se jako pohltivá vrstva používá dodnes, což dokládá i toto jeho použití na nově vyvíjených nízkých protihlukových stěnách, instalovaných v roce 2013 v Praze Hlubočepích a Tetčicích u Brna (obrázek 2).

## 2. Městská protihluková clona

Kromě vytvoření zvukově pohltivé svrchní vrstvy nanesené na jiný (nosný) materiál však může být pojeného gumového recyklátu využito i jako samotného konstrukčního (nosného) materiálu. Této koncepcce je využito u zcela inovativní protihlukové konstrukce Městské protihlukové clony (MPHC). Toto protihlukové opatření je unikátní v tom, že je vyvinuto přímo s ohledem na specifické nároky plynoucí z umístění u tramvajových tratí ve městech. Nutností je tak velmi malá výška (jen cca 30 cm nad úroveň kolejnic) nenarušující charakter zastavěných oblastí a respektující urbanistické požadavky, uzpůsobení konkrétním provozovaným tramvajovým vozidlům (ale také např. sněhovému pluhu) a mezi klíčové faktory patří i možnost rychlé destrukce clony v případě potřeby zásahu záchranářů, například u povalených a zaklíněných osob, které je u prvků betonových značně problematické.



Z uvedeného výčtu okrajových podmínek je zřejmé, že žádné z běžně používaných protihlukových opatření nepřípadá pro obdobné aplikace v úvahu. Vzhledem ke stále se zpřísňujícím požadavkům na úroveň hluku ve městech je však nutné hledat další cesty ke snížení hlukové zátěže obyvatel, což bylo mimo jiné impulzem pro vývoj tohoto prvku.

MPHC se skládá z jednotlivých dílců (segmentů) ukládaných v trati do šterkového lože na připravený základ. Výroba jednotlivých segmentů clony se provádí v recyklačním závodě, vstupní surovinou jsou vyřazené pneumatiky. Od roku 2016 do roku 2019 byl koncept MPHC provozně ověřován na tramvajové trati v Praze – Braníku. Zkušební úsek „Braník“ o celkové délce 24 metrů umožnil ověření technologie, měření útlumu hluku v reálných podmínkách a poskytl možnosti dlouhodobého sledování. Na základě pozitivních zkušeností byl v roce 2018 zřízen druhý zkušební úsek „Hloubětín“ s využitím upravené a optimalizované (mj. více estetické) konstrukce na tramvajové trati mezi zastávkami Nový Hloubětín – Vozovna Hloubětín. Délka tohoto úseku je přes 50 m.

Technickým měřením hluku byl pro některé typy tramvají zjištěn útlum vlivem clony až 5,3 dB. Prvek získal i duševní ochranu ve formě patentu, užitého a průmyslového vzoru.



Obrázek č. 3 – Úsek tramvajové trati s Městskou protihlukovou clonou

### 3. Životní cyklus Městské protihlukové clony

Prvotní otázkou pro posuzování životního cyklu (Life Cycle Assessment - LCA) Městské protihlukové clony je už její samotné zařazení, neboť na MPHC můžeme pohlížet jako na stavbu, ale i jako na jednotlivé dílce, tedy jako na výrobky. Oba tyto pohledy jsou relevantní, např. při druhém pohledu můžeme provádět přímá srovnání různých protihlukových prvků (bez zahrnutí výstavby).

Metody LCA by měly, pokud možno analyticky, zahrnout celý životní proces produktu – od získání surovin na jeho výrobu, výrobu samotnou, stádium užívání, odstranění a likvidaci / recyklaci. V případě celého životního cyklu MPHC by se tak do důsledku jednalo o získání surovin (kaučuk, kord, textil) pro výrobu pneumatik, jejich výrobu, používání, zpětný odběr spojený s jejich dopravou, skladování, recyklaci (tedy

vlastně opětovné získání materiálu), výrobu segmentů clony, výstavbu MPHC, údržbu a jejich odstranění (a případná další recyklace) po skončení životnosti. Vzhledem k tomu, že prvek MPHC byl z recyklovaných surovin vyroben cíleně, je vhodné pro obdobné výrovy odhlédnout od „prvního života“ materiálu, který by se měl odrážet v LCA analýze původních výrobků. Celé posuzování životního cyklu se skládá z několika fází.

### Stanovení cílů a rozsahu

V první fázi LCA analýzy musí být definováno, co je předmětem posuzování a k čemu a komu má studie sloužit. Nedílnou součástí je i přesné vymezení a specifikace posuzovaného produktu, stanovení tzv. *funkční jednotky a referenčního toku*.

V rámci této fáze LCA analýzy je třeba definovat také funkci, kterou má produkt plnit, a *funkční jednotku*, na základě které bude možné produkt porovnávat s dalšími produkty stejné funkce. Volba funkce je zcela klíčová, neboť ovlivňuje celý další postup a srovnání enviromentálních dopadů z jeho konkurencí. **Funkční jednotka ukazující velikost zvolené funkce musí být měřitelná** a nepřímo tak ovlivňuje i volbu funkce.

Nejjednodušší volbou pro funkční jednotku je běžný metr protihlukového prvku. Použití jen délkové jednotky však neodráží skutečnost, že ne všechna protihluková opatření mají stejnou akustickou účinnost – uživatelskou funkci. Pro zohlednění této skutečnosti bychom pro porovnávání museli zavést jednotku obsahující i zjištěný průměrný útlum jednotlivých protihlukových opatření v dB [m/dB], která by rozdílnot uživatelské funkce zohledňovala.

Referenční tok je množství produktu potřebné pro naplnění funkční jednotky. V případě funkční jednotky [m] vychází referenční tok prostým podělením skladebné délky protihlukových prvků. Pokud bychom však zahrnuli do tohoto srovnání i jejich účinnost, bude srovnání mnohem zajímavější. Uvádí se, že běžná „vysoká“ protihluková stěna dosahuje v závislosti na její výšce a vzdálenosti od osy koleje hodnot útlumu v rozmezí 9 – 12 dB, nízká protihluková clona (podle dat ze zkušebních úseků Hlubočepy a Tetčice) asi 6 – 8 dB a Městská protihluková clona (podle dat ze zkušebních úseků v Praze – Braníku a Hloubětíně) asi 3 – 5 dB. Je nutné zdůraznit, že je porovnáván útlum z různých druhů kolejové dopravy (tram vs. vlak), i tak je zde pro tuto úvahu toto značně zjednodušenou ukázkou možného srovnání použito.

Tab.1: Referenční toky protihl. opatření pro různé funkční jednotky:

	Skladebná délka [m]	Referenční tok pro funkční jednotku [m]	Uvažovaný útlum [dB]	Referenční tok pro funkční jednotku [m.dB <sup>-1</sup> ]
PHS	4	0,25	10	0,025
NPC	2	0,5	7	0,071
MPHC	0,75	1,33	4	0,415

Hranice systému slouží pro definování rozsahu LCA analýzy a definují podstatné procesy, které jsou do analýzy zahrnuty. Volba hranic významně ovlivňuje výsledky analýzy i složitost jejího zpracování. Obecně platí, že čím jsou definované hranice systému rozsáhlejší, tím je celá analýza složitější a náročnější na množství zpracovaných dat. Pokud je to možné (a není to na úkor kvality) je snaha hranice zúžit. Z podstaty také vyplývá, že snažíme-li se porovnávat různé výrobky, musí mít pro toto srovnání stejně vymezenou hranici systému.

Tab.2: Obvykle používané hranice systému pro stavební výrobky

Anglický termín	Česky	Zahrnutý cyklus
<i>from cradle to gate</i>	od kolébky po bránu závodu	Těžba surovin, doprava surovin do výroby, výroba, skladování
<i>from cradle to grave</i>	od kolébky do hrobu	Celý životní cyklus
<i>from cradle to site</i>	od kolébky na místo stavby	Těžba surovin, doprava surovin do výroby, výroba, skladování, doprava na místo stavby

V případě Městské protihlukové clony, která je vyrobena z gumového recyklátu, je však mírně obtížné i určení oné „kolébky“, kterou může být buď moment převzetí vyřazené pneumatiky v pneuservisu nebo začátek recyklace ve výrobním závodě. Rozdílem mezi těmito pohledy je energie vynaložená na odběr, dopravu a skladování opotřebovaných pneumatik, která však může být rozdílná a závislá i na tom, zda „víme dopředu“, co se s odebranými pneumatikami bude dít.

Pro porovnání liniových protihlukových opatření je vhodné hranici systému zvolit tak, aby zahrnovala fáze provozu i údržby, která je však různá. Časový rozsah by měl být vztažen na životnost tratě do další rekonstrukce – pro tramvajovou trať doba cca 25 let.

Zvolené hranice systému tak definují časový rozsah a platnost studie.

### **Inventarizace a inventarizační analýza**

Druhá fáze slouží ke zjištění (a vyčíslení) všech materiálových a energetických toků vstupujících a vystupujících do produktového systému. Produktový systém zahrnuje všechny procesy a operace, podílející se na jednotlivých fázích životního cyklu produktu. Součástí analýzy je i sběr dat týkajících se energetické nebo materiálové náročnosti všech procesů.

### **Sestavení schématu produktového systému**

Produktový systém se skládá z procesů a toků. Procesy chápeme jako jednotlivé operace přeměňující vstupy na výstupy, toky představují vstupy, výstupy a spojnice procesů. Toky můžeme dále rozdělit na hlavní a vedlejší – vedlejší toky představují například odpadní teplo nebo vodu (a nejsou obsaženy ve výsledném produktu), přesto je není možné opomíjet. Tyto termíny a princip jsou vysvětleny na příkladu získání gumového granulátu z vyřazených pneumatik (obrázek č. 4 na další stránce).

V technické a výrobní praxi je obvyklé, že jedna výrobní linka produkuje více různých výrobků. Aby bylo možné zohlednit, jaká část vstupů náleží kterému produktu, vstupuje do procesu LCA analýzy tzv. alokace. Cílem alokace je určit podíl zdrojů, který připadá na zkoumaný produkt. Alokaci je nutno řešit ve třech základních případech:

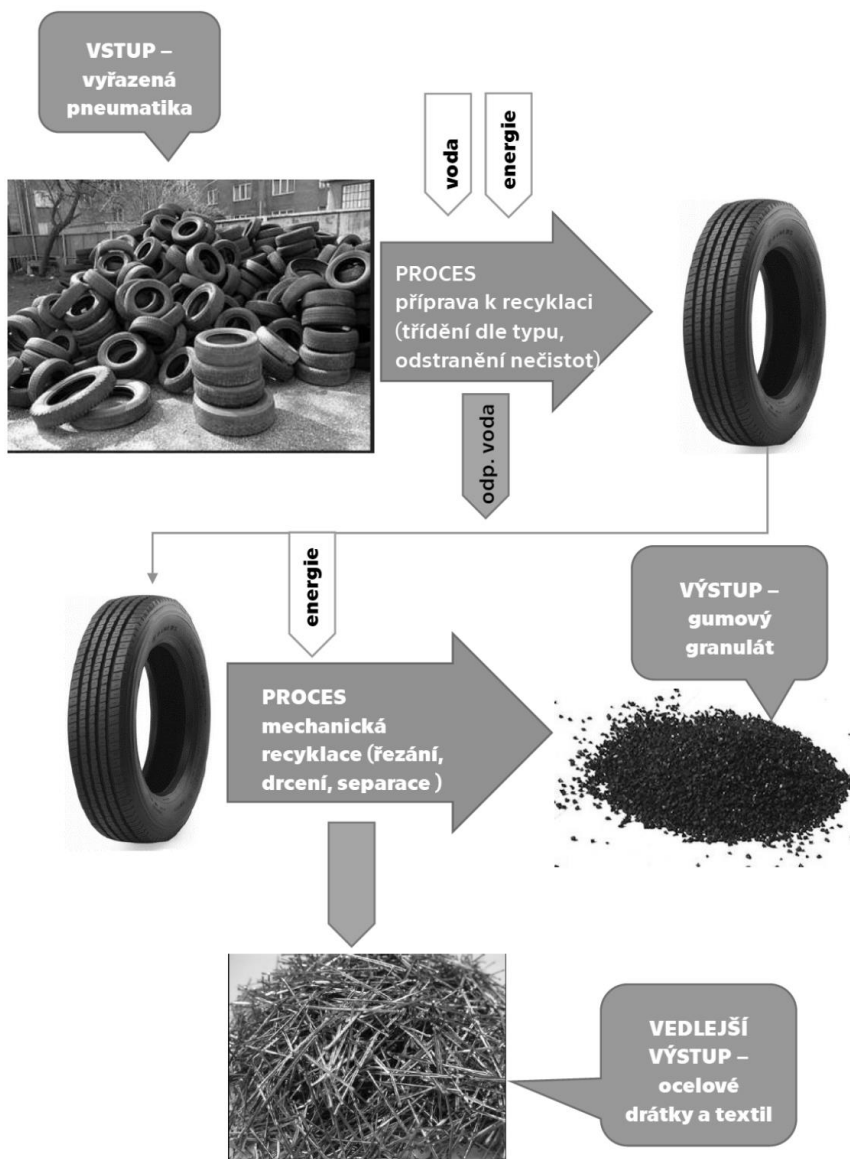
- do procesu vstupuje více paralelních vstupů,
- dochází k recyklaci,
- z procesu nebo skupiny procesů (výroby) vystupuje větší množství produktů s různými funkcemi.

Klíčovým krokem fáze inventarizace je výpočet tzv. „ekovektoru“, neboli vyčíslení množství spotřebovaných surovin, energie a látek emitovaných do prostředí. Každý dílčí proces, který přeměňuje vstup na výstup, by měl mít přiřazeny všechny příslušné toky.

V případě výroby gumového granulátu jsou výstupem i další produkty – ocelové drátky a textilní vlákna. Textilní vlákna z pneumatik se využívají například jako materiál v doskočištích, ocelové drátky se mohou využít jako železný šrot, ale v současnosti jsou již i snahy o jejich využití jako rozptýlené výztuže v betonu.

Energie na recyklaci tak musí být rozdělena v určitém „spravedlivém“ poměru mezi všechny tyto tři produkty určeným alokačním pravidlem. Alokační pravidla mohou zohledňovat počet produktů, hmotnost produktů nebo jejich cenu. Vzhledem k rozdílné povaze produktů není vhodné rozdělení podle počtu produktů a příliš vhodné není ani rozdělení podle hmotnosti (textil, guma i ocelové drátky mají výrazně odlišnou objemovou hmotnost). Při konstrukci LCA analýzy se tak pro recyklaci pneumatik jeví vhodné alokační pravidlo podle ceny produktů.

Po výpočtu všech veličin a toků dochází k normalizování na jednotkové množství výstupu – na jeden dílec MPHC.



Obrázek č. 4 – Schéma produktového systému pro příklad vyřazených automobilových pneumatik

### Posuzování dopadů životního cyklu

Environmentálními dopady životního cyklu výrobků se rozumí pozorovatelné důsledky na kvalitu životního prostředí, zdraví člověka a zvířat a na množství nerostných surovin o množství spotřebovaných

obnovitelných zdrojů. Pro hodnocení je potřebné převést ekovektory získané v předchozí fázi na hodnoty kategorie dopadu.

Kategorie dopadu se rozdělují na tzv. midpointové a endpointové. Midpoint je měřitelná vlastnost – koncentrace látky v ovzduší nebo vodě, atp. Endpoint je sledovaný jev v prostředí – například zvýšená eroze půdy, tání ledovců, atp. Rozdíl je vysvětlitelný na příkladu globálního oteplování, kde midpointový indikátor představuje schopnost skleníkového plynu zadržovat energii v atmosféře, endpointový indikátor je například zvýšení hladiny oceánů.

Tab.3: Pro LCA analýzu jsou obvyklé tyto kategorie dopadu:

Kategorie dopadu	Jednotka
Úbytek nerostných surovin	kg Sb ekvivalentů
Úbytek fosilních energetických surovin	MJ výhřevnosti
Acidifikace půdy a vodních zdrojů	kg SO <sub>2</sub> ekvivalentů
Eutrofizace	kg PO <sub>4</sub> ekvivalentů
Globální oteplování	kg CO <sub>2</sub> ekvivalentů
Úbytek stratosférického ozonu	kg R11 ekvivalentů
Vznik fotooxidantů	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ekvivalentů

Předpokládané dopady Městské protihlukové clony v kategorii úbytek nerostných surovin jsou příznivé. Nerostné suroviny jsou spotřebovávány jen na výrobu prefabrikovaného základu, a i zde může být použit alespoň z části recyklovaný materiál (místo kameniva například drcené pražce, jako výztuž mohou být používány drátky také získané při recyklaci pneumatik).

Tab.4: Srovnání protihlukových opatření z pohledu spotřeby nerostných surovin odrážející spotřebu kameniva a cementu:

	PHS	NPC	MPHC
Hmotnost spotřebovaného betonu odpovídající skladebné délce [kg]	cca 5000	2825	cca 80
Vztaženo k Funkční jednotce [m]	1250 kg / m	1410 kg / m	105 kg / m
Vztaženo k Funkční jednotce [m.dB <sup>-1</sup> ]	125	201	26

Srovnání z pohledu spotřeby nerostných surovin při uvažované funkční jednotce m.dB<sup>-1</sup> vyplývá nejlépe pro Městskou protihlukovou clonu.

V problematice LCA se úbytek surovin obvykle nevyjadřuje jako specifická kategorie dopadu, ale jako výčet spotřebovaných surovin. Při výrobě žádného ze srovnávaných protihlukových opatření nedochází ke spotřebě takových surovin přímo, ale jen jako paliva pro výrobu elektrické energie, případně spotřeba pohonných hmot pro převoz. Vzhledem k menší hmotnosti prvků má opět výhodu Městská protihluková clona, velmi výrazně však závisí také na místě stavby a na vzdálenosti od výroby prvků.

#### 4. Závěr

Při zpracování nebo interpretaci studií zabývajících se životním cyklem staveb a jejich analýzou LCA, je nutné mít neustále na zřeteli, že podobné analýzy jsou mimořádně citlivé na zvolené okrajové podmínky i dosazované hodnoty jednotlivých parametrů. Jak bylo v příspěvku ukázáno, zcela odlišných výsledků srovnání lze dosáhnout například zvolením různé funkční jednotky. Zvláštní pozornosti je třeba při přebírání závěrů jiných studií a jejich výsledků, neboť lze trochu skepticky říci, že vzhledem k nízkým zkušenostem v oboru LCA, lze s výsledky (ať úmyslně nebo neúmyslně) poměrně snadno manipulovat.

Vzhledem k nedostatku přesnějších dat není zatím detailní LCA analýza Městské protihlukové clony ani její srovnání s konkurenčními protihlukovými opatřeními v současnosti možná. Pro zpracování analýzy by bylo potřebné získání zejména dat týkajících se energetické náročnosti zpracování odpadní pryže (vyřazených pneumatik). Vzhledem ke konkurenčnímu tlaku jednotlivých zpracovatelů pneumatik je však související spotřeba energie jednotlivých fází recyklace výrobním tajemstvím, neboť tvoří klíčovou část nákladů na zpracování vyřazených pneumatik.

Autor nicméně pro porovnávání protihlukových opatření doporučuje zvážit vhodnou funkční jednotku jinou než běžný metr – jako možné se jeví například zahrnutí účinnosti stěn (například jednotka  $\text{m}\cdot\text{db}^{-1}$ ).

# Technické a provozní požadavky na uspořádání tramvajových vozoven

Bc. Tereza Brunerová <sup>1</sup>, Ing. Ondřej Bret <sup>2</sup>

*Fakulta stavební ČVUT v Praze*

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

e-mail\_1: tereza.brunerova@fsv.cvut.cz,

e-mail\_2: ondrej.bret@fsv.cvut.cz

## Abstrakt

Příspěvek přibližuje technické a provozní požadavky na uspořádání a stavební řešení tramvajových vozoven. Každá vozovna je do značné míry zcela unikátní a její řešení zpravidla odráží technické, legislativní a provozní nároky poplatné době výstavby nebo rekonstrukce. V textu jsou uvedeny příklady vhodných a naopak dnes již překonaných řešení. Příspěvek si dále klade za cíl shrnout současné požadavky kladené na tramvajovou vozovnu a poskytnout souhrn neopominutelných nároků a detailů, které je nutné uvažovat při návrhu nové tramvajové vozovny.

## Klíčová slova

Tramvaj, vozovna, odstavování tramvají, kolej, hala.

## Technical and operational disposition of tram depot

### Abstract

The article describes technical and operational requirements on disposition and construction solution of tram depots. Every tram depot may be considered as a unique. A solution of a tram depot usually reflects on technical, legislative and operational requirements, which are valid in time of construction or reconstruction of the depot. The article describes selected examples of the tram depot solutions. The goal of the article is to summarize current requirements on tram depots and describe necessary details in designing of a tram depot.

### Keywords

Tram, tram depot, tram shutdown.



## 1. Úvod

Vozovny jsou nedílnou součástí každého tramvajového provozu a zajišťují odstavování vozů, jejich denní údržbu a ve větší či menší míře jsou zde v závislosti na místních podmínkách zajišťovány i opravy vozů. Každá vozovna je do značné míry unikátní a její řešení zpravidla odráží technické, legislativní a provozní nároky poplatné době její výstavby nebo rekonstrukce. Z toho pak vyplývá celkové uspořádání vozovny, osová vzdálenost a délka kolejí, uspořádání a řešení vnějšího kolejiště („harfy“), uspořádání a vybavení zázemí, dílen, průběh denního ošetření a mnoho dalších aspektů.

Výrazná většina vozoven v ČR vznikala historicky spolu s největším rozvojem tramvajových provozů. Například v Praze byla nejstarší dosud provozovaná tramvajová vozovna Strašnice uvedena do provozu v roce 1908, většina (čtyři ze sedmi) do dnes užívaných vozoven byla zprovozněna v letech 1927 – 1939 (Pankrác, Vokovice, Motol, Kobylisy). Nejmladší vozovnou v Praze je vozovna Hloubětín uvedená do provozu v roce 1951.

Již z tohoto krátkého přehledu je patrné, že vozovny v době výstavby byly určeny pro zcela jiný typ vozů vyžadující i zcela jinou údržbu a koncepci provozu. V této době převažovaly dvounápravové obousměrné vozy (motorové i vlečné), které mimo všechny další odlišnosti měly od soudobých tramvají i naprosto jiné rozměry.

První významná změna nároků na vozovny, a tím i vynucené částečné adaptace, úpravy a přestavby, probíhala již od 50. a 60. let v souvislosti s nástupem čtyřnápravových jednosměrných tramvají typů T, následovaná další menší vlnou úprav na přelomu 80. a 90. let v souvislosti s dodávkami tramvají KT8. Zcela nové nároky na vybavení tramvajových vozoven pak přišly spolu s dodávkou nových nízkopodlažních článkových tramvají dodávaných do jednotlivých dopravních podniků po roce 2000.

V souvislosti s dodávkami těchto nových vozů, ale i vzhledem ke stáří všech (nejen kolejových) konstrukcí, probíhá ve většině provozů v současnosti další větší vlna adaptací a úprav jednotlivých vozoven – jako příklad typické úpravy lze uvést zesilování kozlíků / úpravu uložení kolejnic v halách, které je nutné z důvodu většího nápravového zatížení nových nízkopodlažních vozů.

Mimo úprav stávajících vozoven je vzhledem k plánovanému rozvoji tramvajové dopravy potřeba plánovat i adekvátní rozvoj deponovacích kapacit – tedy rozšíření stávajících nebo stavba nových vozoven. Text se na základě osobních prohlídek vozoven, studia podkladů, diskuzí s provozními zaměstnanci a nároků v současnosti provozovaných vozidel snaží shrnout vybrané aspekty, které jsou neopominutelné pro návrh nové či rekonstruované vozovny.

## 2. Požadavky kladené na vozovny podle ČSN

Již na úvod je třeba zmínit, že většina uvedených technických a provozních požadavků, které jsou uvedeny dále v příspěvku, není přímo stanovena normou nebo jiným technickým předpisem.

Navrhování vozoven, resp. nároky na navrhované vozovny, zmiňuje velmi okrajově norma ČSN 73 6405 „Projektování tramvajových tratí“ [1] v kapitole 7, viz obrázek 1, další normy (například ČSN 28 0318 „Průjezdné průřezy tramvajových tratí...“ [2] je při navrhování nutné respektovat, ustanovení týkající se přímo vozoven však neobsahují.

### Koleje tramvajových tratí ve vozovnách a v dílnách

ČSN 73 6405

**7.1** Ojedinelá překážka ve vozovnách a v dílnách pro opravu tramvajových vozidel musí být vzdálena od osy koleje nejméně 1,90 m. Pokud lze tuto překážku obejít může překážka zasahovat až k průjezdnému průřezu.

**7.2** Při úpravách a rekonstrukcích stávajících vozoven a dílen nesmí být použity menší hodnoty než jsou uvedeny v tabulce 3.

**7.3** U kolejí, kde se předpokládá přístup pracovníků nebo služební manipulace, musí se vzdálenost os kolejí zvětšit o manipulační prostor, popř. stezku o nejmenší šířce:

- 700 mm pro průchod pracovníka (menší hodnotu 600 mm lze připustit ve zdůvodněných případech),
- 1 100 mm pro průchod pracovníka s nářadím nebo nesoucího předmět,
- 1 200 mm pro průchod dvou pracovníků vedle sebe nesoucích společně předmět.

**7.4** Vzdálenost mezi spřáhly dvou odstavených tramvajových vozidel (vlaků) musí být v místech, kde se nepředpokládá přístup pracovníků, nejméně 500 mm.

### Minimální prostorová vzdálenost při rekonstrukci stávajících vozoven a dílen

Rozměry v mm

Název stavebního prvku	Vzdálenost od osy koleje	Výška nad TK	Šířka průchodu
1	2	3	4
Ojedinelé překážky, pilíře, sloupy apod. v dílnách a na venkovních kolejích vozoven	1 750 - mimořádně 1 350 <sup>1)</sup>		600 <sup>1)</sup>
Dělicí (podélná) zeď v dílnách	2 050		
Prohlížecké lávky v dílnách	hrana lávky	1 300	3 200
	šířka lávky		600 <sup>1)</sup>
	podchozí výška		1 900 <sup>1)</sup>
Osová vzdálenost kolejí	pro odstavení vozidel	3 700	
	v technologické části	4 100 <sup>2)</sup>	
Vzdálenost vozidel a staveb	mezi spřáhlem a příčnou zdí nebo vraty 2 300 pro průjezd, 1 200 pro průchod		

<sup>1)</sup> Místo musí být označeno žlutočernými výstražnými pruhy a bezpečnostní tabulkou podle ČSN 01 8010.  
<sup>2)</sup> V místech s prohlížeckou lávkou se tato vzdálenost zvětšuje o šířku prohlížecké lávky.  
V místech rozšíření průjezdného průřezu se hodnoty uvedené v tabulce zvětšují o hodnotu rozšíření.

Obrázek č. 1 – Výňatek z ČSN 73 6405 [1]

Jak je z výňatku normy uvedeném na obrázku 1 patrné, norma v podstatě řeší jen minimální požadované vzdálenosti os kolejí

a vzdálenost překážek. Povšimnout si lze i použité formulace „při úpravách a rekonstrukcích stávajících vozoven a dílen“ – při volnějším výkladu tak lze říci, že pro novostavby jsou (při dodržení požadavků dalších norem – zejména průjezdných průřezů) závazné jen body 7.1, 7.3 a 7.4 obsahující jen naprosté minimum informací.

Na zřetel je třeba brát i fakt, že platná verze normy [1] byla vydána již v roce 1996 a neprošla od té doby revizí. Vůbec tak neodráží (spíše revoluční, než evoluční) vývoj vozidel, který je pro návrh vozoven zásadní.

### 3. Provozní požadavky

Klíčové pro návrh uspořádání nové nebo rekonstruované vozovny tak jsou současné provozní požadavky, které ovlivňují celkovou koncepci dopravy, uspořádání hal a jednotlivých kolejí, jejich vybavení, možnosti zatahování, výjezdu vozů, denního ošetření a další.

Koleje v jednotlivých halách mohou být uspořádány jako neprůjezdné, nebo průjezdné, kolejiště může obsahovat objízdnou kolej (koleje) nebo může být uspořádáno jako hlavové, vnější kolejiště před halami může být v uspořádání stromkového zhlaví nebo s matečnou kolejí. Všechny tyto varianty s sebou přináší výhody a nevýhody – a to jak z pohledu provozního, tak z pohledu ekonomického. Je tedy potřeba najít takové řešení, které je bez problémů funkční z hlediska provozního a zároveň přijatelné z hlediska pořizovacích a údržbových nákladů.

V dalších kapitolách jsou postupně uváděny, včetně vysvětlení, jejich funkce a potřeby, případně uvedení do souvislostí.

#### 3.1. Běžný provoz vozovny, výjezd a zatahování vozidel

Pro pochopení provozních potřeb je nutné popsat běžný denní provoz vozovny, zejména výjezd vozidel, jejich zatahování a odstav.

V pražských podmínkách (významně se nelišících od jiných provozů) probíhá zatahování „po vlnách“ – po ukončení ranní, resp. odpolední špičky, večer a kolem půlnoci. V těchto obdobích přijíždí do vozovny jednotlivé tramvajové vlaky v rozmezí 2 – 5 minut.

Zatažení probíhá optimálně přes halu denního ošetření, kde pracovníci depa převezmou soupravu včetně soupisu řidičem objevených závad a provedou kontrolu vozu, včetně pantografu a dalších součástí. Jak je z výše uvedeného patrné, na jednu soupravu má pracovní četa právě interval mezi zatahujícími vozy, tedy zpravidla cca 3 minuty. Delšího času lze dosáhnout přebíráním vozů z provozu paralelně na více kolejích, tím však vzniká nárok na větší počet pracovníků. Vozidla s nahlášenými nebo odhalenými závadami jsou přiřazena na příslušná pracoviště, vozidla bez zjevných závad jsou odstavována do remizovacích hal. Denní ošetření je zpravidla spojeno s doplněním pískovačů a s mytím skříně tramvají.

Během odstavu probíhá odstraňování zjištěných závad případně další kontrola vozů tak, aby byly připraveny pro ranní výjezd.

Výjezd probíhá po převzetí a kontrole vozu řidičem, kontrola a příprava soupravy pro výjezd trvá zpravidla okolo 15 minut. Po té souprava vyjíždí do provozu s cestujícími na určenou linku a pořadí.

### 3.2. Hala denního ošetření

Halu denního ošetření je nevhodnější navrhnout jako průjezdnou, což urychlí proces zatažení a tedy celý provoz ve vozovně. V případě nedostatečného místa však hala průjezdná být nemusí.

Součástí haly DO by měly být pracovní kanály, lávka po (alespoň jedné) straně sloužící ke kontrole pantografů a střech vozů, a dále (ideálně automatické) stanoviště dosypávání písku nejlépe umístěné po obou stranách. Jak bylo již řečeno výše, přejímání vozů může probíhat na jedné koleji nebo na více kolejích paralelně, což prodlouží možný čas vyhrazený pro každou soupravu.

Dále by součástí haly denního ošetření měl být mycí rám, popřípadě lze mycí rám umístiti i mimo halu jako součást objízdne koleje - toto řešení je zobrazeno na obrázku č. 2. Mycí rámy, umístěné na stanovištích v hale DO, zpravidla umožňují i mytí čel a střechy tramvaje a bez problémů fungují i v zimním období. Částečnou nevýhodou je doba trvání mycího cyklu, která většinou neumožňuje mytí všech vozů bezprostředně po zatažení z trati – přistupuje se proto k různým obdenním cyklům, popřípadě je vozy nutné pro mytí znovu přistavit. Mycí rámy umístěné na objízdne koleji zpravidla myjí jen boční části skříní, protože jsou však uspořádány jako průjezdné, umožňují mytí všech zatahujících vlaků. Toto umístění mycího rámu je použito například ve vozovně v Kobylisích.



Obrázek č. 2 – Venkovní mycí rám

Hala DO by měla být oddělena od ostatních deponovacích hal.

### 3.3. Haly pro odstav vozidel – „remizovací“ haly

Ačkoli se u některých nově navrhovaných vozoven (příkladem může být návrh celkové přestavby vozovny Hloubětín v Praze) uplatňuje koncepce, že haly pro odstav vozidel jsou koncipovány jen jako „prosté“ haly bez dalšího vybavení i bez předpokladu většího pohybu osob (tedy jsou mimo jiné například pouze temperované, nikoli vytápěné), i na základě zkušeností provozních zaměstnanců autoři tohoto textu soudí, že tato koncepce není z pohledu běžného denního provozu vozovny zcela vhodná.

Hlavním požadavkem na jednotlivé haly dlouhodobě bylo zřízení pracovních kanálů v dostatečné délce a na dostatečném počtu kolejí. To umožňuje drobnější opravy na vozech provádět bez (zejména v nočních hodinách v době plného obsazení vozovny) složitého přesunu na stanoviště údržby.

Jelikož se u nových nízkopodlažních vozidel přesouvá značná část výzbroje a přístrojů z prostoru pod podlahou vozu na střeš, klesá i celková potřeba kanálů pro přístup pod vozy. Jejich úplné vynechání však může přinášet provozní komplikace i u moderních vozů s výzbrojí na střeše. Pokud vozidlo není v případě nutné opravy části podvozku (mechanické, nebo elektrické) umístěno nad kanálem, musí se složitě přesouvat na požadované místo, což je mnohdy velmi náročné a v běžných podmínkách až nemožné. Ihned na tomto místě je nutné poznamenat, že ne všechny závady jsou odhaleny ihned během zatažení a myšlenka správného rozřazení vozů na jednotlivé koleje už při zatažení je iluzorní.



Obrázek č. 3 – Pracovní kanál

Stále důležitější je u současných vozidel s výzbrojí na střeše (tramvaje 15T, 14T, KT8D5.RN2P, T3R.PLF – uspořádání a rozměry viz např.[3]) v halách umísťovat stanoviště s lávkou pro provádění kontrol agregátů na střeše. Ideální myšlenka je „čím více lávek, tím lépe“. S tím souvisí i potřeba zvětšení osové vzdálenosti na příslušných kolejích tak, aby byly dodrženy všechny potřebné odstupy a zajištěn i přístup na revizní lávku. Stejně jako u pracovních kanálů snižuje nedostatek lávek efektivitu údržby, neboť se ztrácí čas přesouváním vozů mezi kolejemi.

### 3.4. Další technologie

Ať už přímo do hal pro odstav, nebo do specializovaných hal na střední údržbu, je nutné umístit další nezbytné technologie.

Jedním z požadavků je umístění točny pro otáčení podvozků do haly ideálně včetně navazující koleje pro manipulaci s podvozkem za účelem snadného naložení na nákladní automobil. Točna slouží ke snadnému a rychlejšímu otáčení podvozků. Vhodným řešením je točna ve tvaru „T“ (viz obrázek číslo 4), kdy se dá snadno a rychle provést jak otočení podvozků, tak jejich prohození nebo výměna. Toho lze využít například i u tramvajů typu 15T, ale i u dalších. Ideální je umístění točny v zadní části haly, kde není pravidelně pojížděna.



Obrázek č. 4 – Podvozková točna

Dále by hala měla být opatřena portálovým jeřábem nad lávkou, který slouží k výměně pantografů, trakčních, klimatizačních, pomocných kontejnerů. V halách by měl být umístěn i vertikální jeřáb s otočným ramenem například k výměně čelních skel apod. (viz obrázek 5).



Obrázek č. 5 – Vertikální jeřáb s otočným ramenem

Při návrhu půdorysu hal je nutné dbát na všechny místnosti a zařízení související se zaměstnanci vozovny.

Součástí haly by mělo být i stanoviště pro zvedání tramvaje, přičemž musí být nosnost a počet heverů naddimenzovaná vůči všem typům tramvají. Příklad řešení umístění heveru je patrný z obrázku číslo 6. Se zdviháním tramvaje ve vozovně by se mělo počítat od úplného počátku návrhu rozměrů haly, aby se vůči této činnosti určila správná výška stropu, ale, opět, i osová vzdálenost kolejí!



Obrázek č. 6 – Stanoviště pro zvedání tramvaje

Co se týče kolejnic, je vhodnější použití kolejnic žlábkových. Hlavním důvodem je, že v případě užití vignolových kolejnic (například typu 49E1) by mohlo dojít k značným problémům v případě závady na tramvajových kolech (závady obruče apod.), což by mohlo vést při vykolejení až k propadnutí vozu do pracovního kanálu. Zejména na kolejích s pracovním kanálem je použití jiných než žlábkových kolejnic zcela nevhodné!

Dalším technologickým požadavkem je důraz na dostatečné osvětlení jako například natáčecí lampy na podvozky, ventilaci, atp.

V případě velkého prostoru pro umístění nové vozovny je vhodné v hale mít stanoviště na demontáž, montáž a výměnu tramvajových kol, včetně lisu, sváření a dalšího potřebného vybavení. Přičemž část koleje musí mít pracovní kanál.

### **3.5. Ochranný box**

Ochranný box neboli „klec“ musí být zejména ve městech se silným provozem nedílnou součástí každé vozovny. Klec musí mít uzamykatelná vrata a nesmí být přístupná, aby nedocházelo ke zkompromitování důkazů po mimořádné události před komisionální prohlídkou nebo dalším procesním postupem. Klec slouží k odstavení vozů po nehodě a může být umístěna uvnitř haly i mimo, avšak pokud je umístěna mimo halu, jsou vozidla vystavena klimatickým jevům, což v případě kombinace rozbitého okna a větru, deště nebo sněhu, není příznivé. Klec je zakrytý prostor mezi kolejnicemi pod vozem po délce 35 metrů a je oplocen alespoň do výše střechy vozidel.

### **3.6. Pracovníci depa, řidiči**

Při návrhu nové vozovny je potřeba dbát na všechno vybavení, které se týká zaměstnanců. Podle velikosti vozovny a počtu vypravovaných tramvají je nutné určit předběžný počet zaměstnanců. Platí zásada, že každý pracovník depa by měl mít svůj ponk. Ve vozovně musí být umístěna hygienická stanoviště s umyvadly se speciálními mycími prostředky. Součástí vozovny musí být i sklad náhradních dílů s ohledem na dopravní obslužnost, a dále je nutno počítat s volnými plochami na hale sloužícími k umístění těžkých a rozměrných komponentů a náhradních dílů (podvozky, čelní skla, spřáhla, a další).

Ideální je při návrhu koncepce vozovny do maximální míry oddělit křížení pěšího provozu (myšleno zejména přicházejících a odcházejících řidičů) a provozu tramvají. Stejná zásada platí pro případný pohyb silničních vozidel po areálu vozovny. Nedílnou součástí návrhu je i dostatečný počet parkovacích stání pro zaměstnance. Velmi důležitým vybavením jsou šatny, sprchy a toalety, oddechové prostory, kanceláře.



## 4. Uspořádání kolejiště

Uspořádání kolejiště je odvislé od celkové koncepce vozovny. Platí, že halu denního ošetření je vhodné navrhovat jako průjezdnou, remizovací haly pak postačují neprůjezdné. Ideální je řešení doplněné alespoň jednou objízdnou kolejí.

Nejvhodnějším řešením uspořádání kolejiště je využití dostatečného počtu výhybek a kolejí tak, aby bylo možné ve vozovně otočit vůz o 180°. Přínosným řešením je umístění kolejové smyčky na dvoře vozovny, propojené z obou stran s objízdnou kolejí kolem vozovny. Dané řešení je velmi efektivní vůči všem mimořádným událostem a umožňuje zatahování vozů do haly popředu i pozadu.

Vhodné uspořádání kolejiště by mělo eliminovat případné zablokování celého kolejiště a umožnit zatažení vozidel do jiné haly v případě kolize nebo v případě vykolejení.

Kolejová harfa může být s výhodou provedena s matečnou kolejí s využitím jednojazykových výhybek, kde jednotlivé výměny následují v těsném sledu za sebou. Takové uspořádání umožní využít pro odstav i delší části kolejí před jednotlivými halami, a ani použití jednojazykových výhybek nepůsobí významnější potíže.

## 5. Závěr

Návrh vozovny je vysoce komplexní problematikou, která i vzhledem k slabé normové a předpisové základně, odlišnostmi jednotlivých provozů i specifickými požadavky na konkrétní vozovnu v síti vyžaduje vždy zcela individuální přístup. Autoři se zatím seznámili s celkem osmi vozovny v ČR, které byly všechny nějakým způsobem odlišné a unikátní. Kromě vybraných základních provozních požadavků představených v tomto textu je nanejvýš vhodné všechny požadavky a navržená řešení konzultovat i se středními provozními zaměstnanci, kteří ve vozovnách denně pracují a mají tak detailní přehled o jejich nedostacích, nebo naopak dobře vyřešených detailech.

### Literatura

- [1] ČSN 73 6405 Projektování tramvajových tratí. ČNI, srpen 1996.
- [2] ČSN 28 0318 Průjezdné průřezy tramvajových tratí a obrysy pro vozidla provozovaná na tramvajových drahách. ČNI, duben 2015.
- [3] Bret, O.; Váňová P.: Pomůcka pro měření (nejen) hluku z tramvajové dopravy, ČVUT v Praze, 2019. ISBN:978-80-01-06537-2

Informační brožury vydávané Dopravním podnikem hl.m.Prahy

FOJTÍK, P., HRUBEŠ, J.: Vozovna Žižkov 1912-2002, ISBN 80-238-8316-X

FOJTÍK, P.: Vozovna Vokovice 1933 – 2003, ISBN 80-239-0856-1

# Konceptní dokumenty pro infrastrukturní stavby městské kolejové dopravy v Praze

Ing. arch. **František Brynda**

*Fakulta stavební ČVUT v Praze*

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

e-mail: Frantisek.Brynda@fsv.cvut.cz

## **Abstrakt**

Na veřejný prostor jsou v současné době kladeny vysoké nároky. Zejména architektonické zpracování a prostorové uspořádání dopravní infrastruktury ve městech ovlivňuje podobu veřejných prostranství na dlouhá léta. Stavby pro veřejnou dopravu jsou ve městech bez pochyb jejich důležitou součástí, a proto je nutné jim věnovat náležitou pozornost. Je na ně kladeno mnoho požadavků, jež shrnují různé manuály a dokumenty zpracované různými městskými organizacemi.

## **Klíčová slova**

Veřejná doprava, dopravní infrastruktura, městská kolejová doprava, zastávka, přestupní bod, veřejná prostranství, tramvajová trať, uliční prostor.

## **Conceptual documents for infrastructural constructions of urban rail traffic in Prague**

## **Abstract**

High demands are placed on public space these days. Especially architectural design and spatial arrangement of traffic infrastructure in cities are affecting public space image for many years ahead. It is beyond all doubt, that public transport structures are important parts of these spaces and for this reason it is necessary to pay attention to their design. A lot of demands are summarized in different handbooks and documents, which were formed by various city authorities.

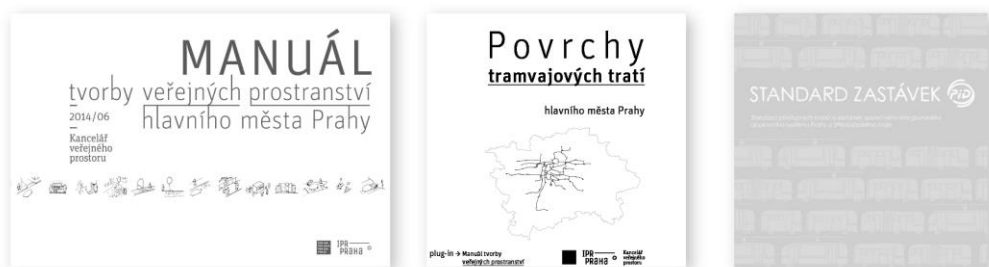
## **Keywords**

Public transport, transport infrastructure, urban rail transportation, station, transfer hub, public space, tram track, street profile.

## 1. Úvod

Doprava hraje ve veřejném prostoru velice důležitou roli. V blízkosti zastávek se díky větší koncentraci obyvatel daří drobným podnikatelům a tato místa se tak stávají přirozenými lokálními centry. Při novostavbách ale i rekonstrukcích či přestavbách stávajících staveb je nutné zohlednit mnoho faktorů a realizovat stavbu tak, aby co nejlépe vyhovovala místním podmínkám a citlivě ji zasadit do městského prostředí. Jak již z názvu vyplývá, veřejná doprava slouží veřejnosti, zejména tedy obyvatelům a cestujícím. Má být jako udržitelná preferována. Aby ji cestující rádi využívali, musí pro ně být atraktivní a musí být vnímána pozitivně.

V poslední době vzniklo hned několik koncepčních dokumentů, které se dotýkají problematiky městské kolejové dopravy v Praze a jejím okolí. Jedná se o Manuál tvorby veřejných prostranství od Institutu plánování a rozvoje hlavního města Prahy, který vznikl v roce 2014, Povrchy tramvajových tratí hlavního města Prahy (od stejného autora), jež slouží jako plug-in předchozího manuálu, a Standard zastávek PID vydaný organizacemi ROPID a IDSK v roce 2017.



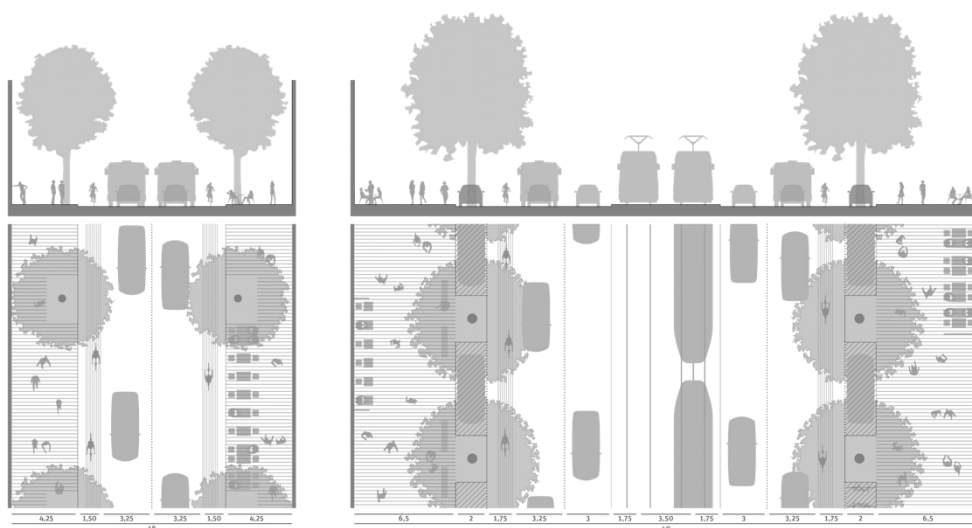
Obr. 1. Titulní strany jednotlivých dokumentů.

Manuál tvorby veřejných prostranství hlavního města Prahy reaguje na dlouhodobě neřešené problémy města. Jeho cílem je přímý dopad na kvalitu veřejných prostranství. Slouží jako základní podklad pro koncepční přístup k rozvoji veřejných prostranství v hlavním městě Praze. Je jedním z nástrojů pro naplnění cílů strategie města v plánování, vytváření, spravování, provozování a užívání kvalitních veřejných prostranství. Zabývá se různými oblastmi a detaily a mimo jiné řeší také zastávky tramvají a autobusů. Na toto téma byla později zpracovaná samostatná publikace – Standard přestupních bodů a zastávek PID. Podobně jsou v manuálu řešeny také povrchy tramvajových těles, které dále specifikuje dokument Povrchy tramvajových tratí.

Koncepce povrchů tramvajových tratí je zaměřena čistě jen na materiálové varianty tramvajových tratí. Cílem je nastavit základní standardy pro povrchy tratí dle jejich typologie pro projekty rekonstrukcí a novostaveb. Jako podklad pro tuto koncepci sloužila především data vypovídající o veřejných prostranstvích, aktivitách v parteru, šířkách uličních prostorů, dopravním zatížení komunikací, trasách autobusových linek, cyklotrasách, hlukové zátěži a o plánovaných rekonstrukcích a novostavbách tramvajových tratí. V koncepci jsou prezentovány také mapové podklady obsahující tato data.

Standard přestupních bodů a zastávek společného integrovaného dopravního systému Prahy a Středočeského kraje (zkráceně Standard zastávek PID) je ucelený koncepční dokument, který shrnuje důležitou problematiku přestupních bodů a zastávek povrchové dopravy nejen v rámci Prahy, ale i Středočeského kraje. Zastávky jsou obecně prvním místem kontaktu cestujícího s veřejnou dopravou, a proto by měla být jejich přívětivost, přístupnost a bezpečnost jednou z priorit měst i obcí, na jejichž území se zastávky nacházejí. Dokument řeší velké přestupní terminály, ale i menších přestupní body v rámci měst či obcí, a také okolí stanic metra a železnice, které jsou přirozenými místy vyšší koncentrace lidí. Ve standardu se řeší i další prvky zastávkové infrastruktury, jako jsou přístřešky, lavičky či kvalitní navigace na další cíle v okolí zastávky.

## 2. Uspořádání uličních profilů [1]



Obr. 2. Příklad uspořádání uličního profilu.  
(zdroj: Manuál tvorby veřejných prostranství [2])

Manuál popisuje zásady a poskytuje ukázky různých uspořádání uličních prostorů, které se odvíjejí od jejich šířek a dopravního zatížení, a řadí je do následujících kategorií: sdílený prostor, klidné a zklidněné ulice, významné ulice se zklidněným provozem a ulice zatížené motorovou dopravou.

Z hlediska městské kolejové dopravy je důležitá zejména kapitola, která řeší ulice zatížené motorovou dopravou [2]. Jde o významné městské osy, které slouží průjezdné dopravě. Provoz tramvají má být veden přednostně na samostatném tělese, v případě autobusů lze využít vyhrazený jízdní pruh nebo tramvajové těleso. U významných ulic se zklidněným prostorem sdílí tramvaje prostor s automobily.

### 3. Prvky ve veřejném prostoru

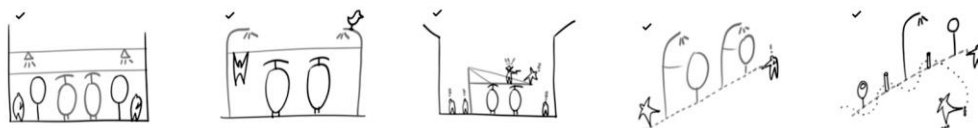
#### 3.1. Nadzemní prvky [3]

Velký důraz je kladen na nadzemní prvky infrastruktury, které spoluvytvářejí celkový charakter prostoru. Jedná se zejména o dopravní značení, sloupy trolejového vedení, sloupy veřejného osvětlení a další prvky.

Ve struktuře kompaktního města je žádoucí maximálním způsobem zachovávat systém veřejného osvětlení a trakčního tramvajového vedení na převěsech mezi fasádami budov, což přináší maximální uvolnění prostoru ulice a díky eliminaci sloupů představuje také zpravidla nižší investiční náklady.

V oblastech, kde není možné uchycení trakčního vedení na převěsech mezi budovami, je vhodné jej umísťovat na převěsech mezi sloupy sdruženými s veřejným osvětlením nebo případně se světelnou signalizací křižovatek. Stožáry je vždy nutné umísťovat tak, aby nepřekážely provozu chodců.

Řešení s výložníky v zastavitelném území s uzavřenou stavební čarou by mělo být vždy pouze krajní možností. Sdružené stožáry TV a VO je nutné umísťovat do osy se stromořadím. Pokud v ulici stromořadí není, je třeba stožáry umísťovat co nejbližší k hraně obrubníku na kraji chodníku.

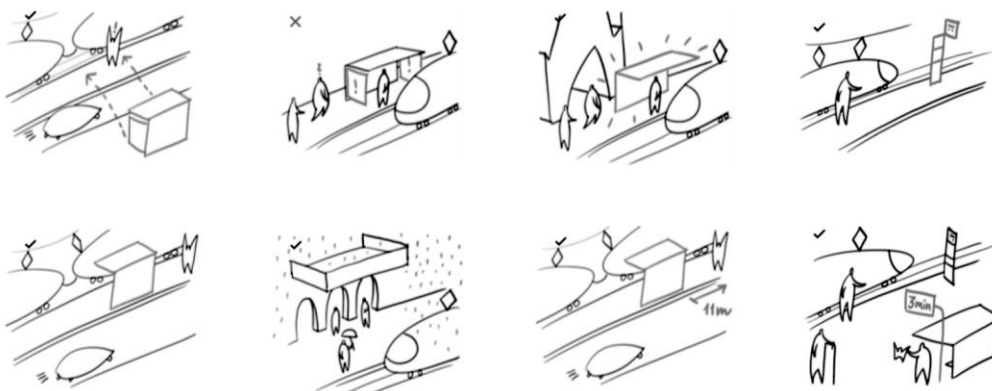


Obr. 2. Ukázky ilustrací pravidel pro nadzemní prvky.  
(zdroj: Manuál tvorby veřejných prostranství [3])

### 3.2. Mobiliář pro zastávky veřejné dopravy [4]

Manuál stanovuje obecné požadavky na městský mobiliář, které musí splňovat také přístřešek a zastávkový označnick. Hlavní funkcí přístřešku je ochrana před povětrnostními vlivy, čemuž by se všechny ostatní požadavky (zejména na reklamu) měly podřídít. Zásadní je dobrý výhled na přijíždějící vozidlo městské hromadné dopravy, což klade požadavek na prosklení bočnice v tomto směru.

Přístřešek umístěný mimo zastávku je krajním řešením. V těchto případech musí být zajištěn přímý a komfortní přístup k nástupní hraně. Přístřešky a čekárny by neměly zasahovat do pásu pro chodce a cyklisty. Přístřešek by měl být přednostně umísťován na tramvajovém ostrůvku, a to i v případě jeho úzké šířky, kdy je vhodné volit variantu přístřešku bez bočnic. U zatíženějších zastávek je vhodné zdvojení přístřešku či umístění dalšího přístřešku v pozici druhého vozidla/soupravy. Pokud budovy v bezprostřední blízkosti zastávky tvoří přirozené přístřeší, přístřešek zde být nemusí.



Obr. 3. Ukázky ilustrací pravidel pro zastávky veřejné dopravy.  
(zdroj: Manuál tvorby veřejných prostranství [4], [5])

### 3.3. Označnick a informační displej [5]

Požadavky na označnick jsou vždy podřízeny místním specifikům. Obecné požadavky jsou zejména jeho dobrá viditelnost a srozumitelnost poskytovaných informací. Design by měl být podobný městskému mobiliáři. Součástí označnicku nemá být odpadkový koš. Zastávka by také měla být vybavena elektronickými odjezdovými panely, které by přednostně měly být umísťovány zhruba do poloviny nástupiště (tedy mimo označnick).

## 4. Tramvajové tratě ve městech

Povrch tramvajové tratě by měl být jednotný po celé délce průjezdu daným veřejným prostranstvím. Případná změna barvy či struktury materiálu musí být kompozičním záměrem či prostředkem organizace pohybu.

Pro každou základní variantu je vytvořena škála možných materiálových variant. Konkrétní typ materiálové varianty (druh, barevnost povrchu, velikost dlažby) je nutné stanovit vždy na základě celkové koncepce konkrétního prostranství, kterým tramvajová trať prochází.

Ve městě a zejména v centru města je obecně nejvhodnější užívat tramvajové pásy integrované do prostoru ulice. Materiálové provedení tramvajového pásu by mělo vycházet z charakteru místa a navazujících povrchů veřejného prostranství, jímž prochází. Důležité je zachovat jeho celistvý charakter a možnost pohybu a přecházení, které jsou pro městské prostředí charakteristické. V případě sdružení s autobusovým pásem je vhodné jej odlišit probarveným asfaltem či jiným materiálem dle parametrů pásu vymezeného pro autobusy. Tramvajový pás je v nezbytných případech vhodné zvýšit a oddělit obrubníkem pouze v ulicích zatížených motorovou dopravou. V ostatních případech je z bezpečnostních důvodů vhodné použití zkosené obruby nebo zvýšené tvarovky tak, aby byl umožněn vjezd na pojižděný tramvajový pás.

## 5. Základní kategorie povrchů tramvajových tratí [6]

Základní kategorie povrchů tramvajových tratí jsou definovány v tradičních uličních prostorech na území hl. m. Prahy a vychází z reálných možností města, historických souvislostí a technických možností tramvajových tratí.

### 5.1. A – Specifická veřejná prostranství [7]

Specifická veřejná prostranství (náměstí, parky a jiné významné prostory) mohou být řešeny zcela jinak, vždy je nutné na tyto prostory zpracovat architektonický návrh a projekt.

A1 – Národní kulturní památky, kulturní památky a významné budovy (veřejná prostranství a areály)

A2 – Náměstí, nábřeží, předprostory významných budov, zahrady a parky, pěší a smíšené zóny, průjezdy atypických veřejných prostranství

A3 – Parky

## 5.2. B – Těleso umístěné ve vozovce [8]

Tratě jsou plnohodnotnou součástí vozovky dané ulice a jsou společně užívány pro provoz veškeré povrchové dopravy. Povrch tramvajového pásu je jednotný pro celou šířku vozovky a měl by být materiálově sjednocen s celkovým charakterem ulice. Výběr materiálu souvisí s umístěním tratě v rámci města, charakteru ulice i dopravním zatížením. Parkovací stání podél těchto komunikací se zpravidla vymezuje změnou povrchu – povrchem z dlažby, změnou skladby dlažby, či změnou formátu dlažby, charakter se blíží povrchu chodníku.

B1 – Asfaltový kryt

B2 – Kamenná dlažba

## 5.3. C – Těleso oddělené od vozovky – pojízditelné [9]

Používá se především tam, kde je nutné upřednostnit jízdu tramvají a zároveň zachovat možnost příležitostného pojíždění vozidel záchranného systému či ostatních druhů veřejné dopravy (autobusů). Z důvodu jednoznačného vymezení i optického rozdělení prostoru vozovky a tramvajového pásu by měl vždy být povrchem odlišen od okolní vozovky. Jeho povrch je pak volen dle umístění v rámci města, charakteru dané lokality a nízké hladiny hluku s ohledem na četnost pojíždění jinými vozidly.

C1 – Kamenná dlažba

C2 – Alternativní povrch (může jít o specificky upravené kamenné dlažby, asfalt v jiném odstínu či kvalitní skládaná dlažba. Nesmí být užitá zámková dlažba. Mimo památkovou zónu je možné užívat například různé kamenné dlažby, betonové panely, probarvený asfalt, betonový monolit a kvalitní betonovou skládanou dlažbu, nikoli však zámkovou dlažbu.

## 5.4. D – Těleso oddělené od vozovky – nepojížděné [10]

Důležité je zejména umožnění pěší prostupnosti pomocí přechodů. Dlouhé úseky bez umožnění příčného přecházení jsou ve městě nežádoucí. Mělo by se jednat zejména o nezpevněné povrchy umožňující vsakování a vegetační kryt. Možné je využití trávnickových ploch (vysoké nároky na údržbu a zavlažování) nebo extenzivní formy vegetačních krytů. Otevřené tramvajové svršky jsou pro městské prostředí nevhodné.

D1 – Vegetační kryt – intenzivně udržovaný

D2 – Vegetační kryt – extenzivně udržovaný (suchomilné rostliny nebo traviny)

D3 – Alternativní povrch



### 5.5. E – Těleso mimo základní uliční profil [11]

Použití je možné zejména mimo zastavěné území. Záleží na charakteru okolní krajiny, avšak ideální bývá překryt těleso přirozeným vegetačním krytem. Alternativně lze uvažovat o změně charakteru do podoby železniční dráhy s klasickým otevřeným kolejištěm.

E1 – Vegetační kryt jako součást krajiny

E2 – Otevřený kolejový svršek (pouze v periferních oblastech města mimo zástavbu, kde tramvajová trať přebírá formu železnice a kde není nutné vytvářet pěší či jiná propojení)

E3 – Tramvajové těleso mimoúrovňové (povrch tramvajové trati na estakádě je dán návrhem mostního objektu, zpravidla však může být technický, tj. železniční otevřený svršek)

## 6. Zastávky a přestupní body

Standard zastávek PID přichází s kategorizací jednotlivých zastávek a přestupních uzlů. Kategorizace slouží především k definici rozsahu vybavení přestupních bodů a zastávek. Použito je celkem 8 kategorií, od významného uzlového bodu přes nácestné zastávky až po zastávky v extravilánu.

Náležitá pozornost je věnována umístění zastávky v území. Kromě základního požadavku na obsluhu území musí být zastávka také dobře viditelná a musí k ní být snadný přístup. Umístění by tedy mělo být na významném místě, kde se přirozeně koncentrují pěší proudy.

### 6.1. Prostor zastávky [12]

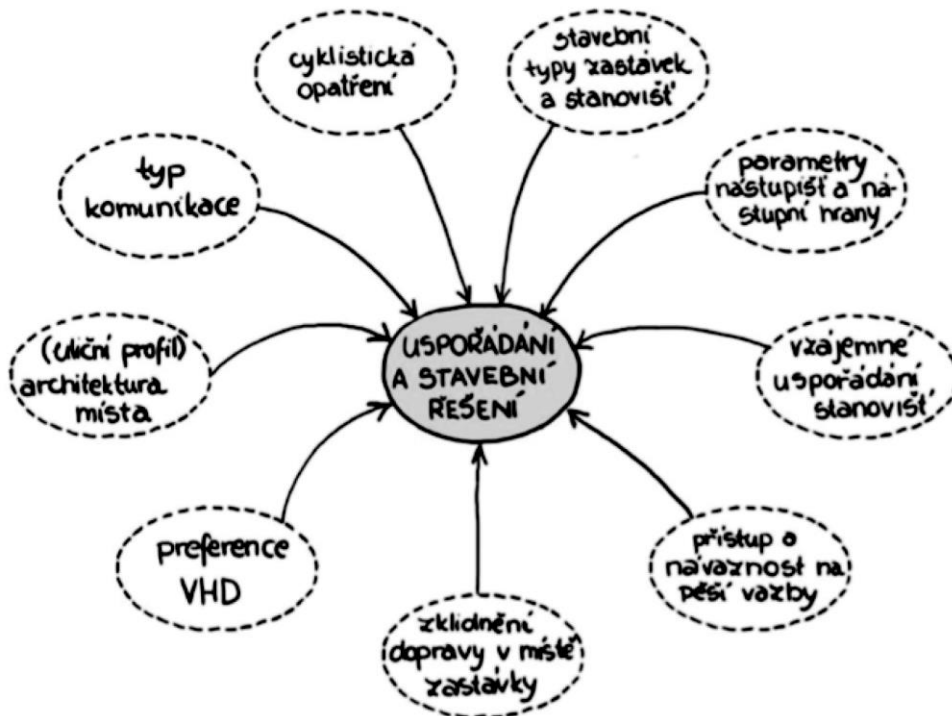
Projektování zastávky tramvajů či autobusů musí vždy pracovat s prostorem umístění zastávky jako celkem. Jedině tak lze zajistit kvalitní návrh a následnou funkční realizaci. Uspořádání prostoru tramvajových a autobusových zastávek nemůže vycházet z potřeb plynulosti a řízení individuální dopravy. To je zcela proti smyslu preference veřejné dopravy.

Uspořádání a stavební řešení samotné zastávky ovlivňuje hned několik věcí zároveň. Kromě samotných parametrů zastávky (stavební typy zastávkových stanišť a parametry nástupišť a nástupních hran) je důležité také vzájemné uspořádání jednotlivých stanišť a přístup na ně z hlediska pěších vazeb do okolí. Konkrétní řešení pak ovlivní zejména typ komunikace, kde je zastávka navržena, a architektura konkrétního místa.

Zastávková stanoviště pro opačné směry by měla být přednostně zřizována v těsné vazbě, přičemž základní a upřednostňovaná vzájemná poloha zastávkových stanišť je vstřícné uspořádání, případně

uspořádání před křižovatkou ve směru jízdy či uspořádání čely stanovišť k sobě s centrálním přechodem.

Přístup na zastávku musí být jednoduchý a pro cestující příjemný. Chodci budou využívat vždy co nejpřímější cestu bez ohledu na bezpečnost. Tomu by měl návrh vždy odpovídat a u tramvajových zastávek by tak měl být přístup z obou čel a z obou stran ulice.



Obr. 4. Aspekty a požadavky vstupující do řešení prostoru zastávky.  
(zdroj: Standard zastávek PID [12])

## 6.2. Stavební typy zastávkových stanovišť [13]

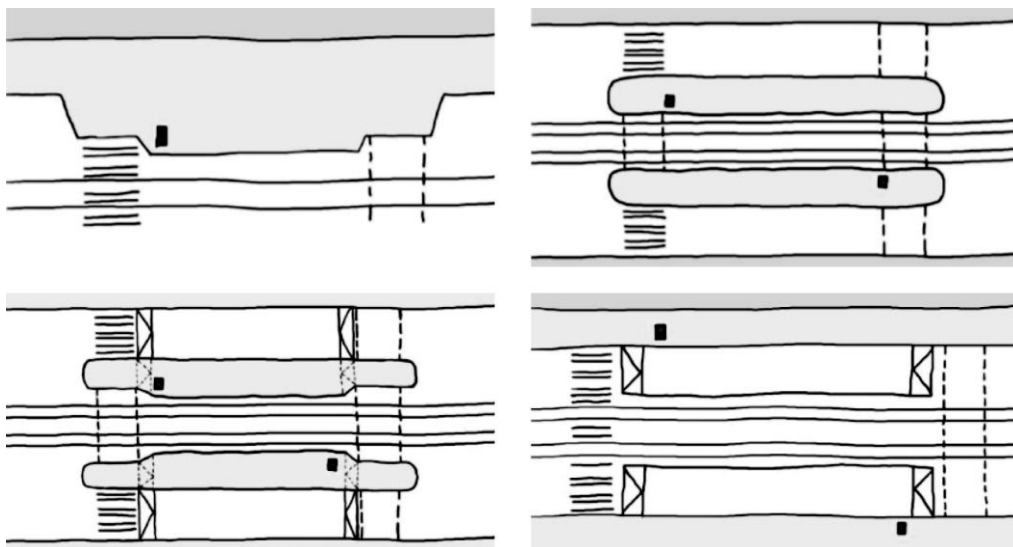
Pro tramvajovou dopravu identifikuje Standard zastávek jako optimální typy především zastávkový mys, zastávkový ostrůvek/nástupiště, zátkovou zastávku a „vídeňskou“ zastávku.

Zastávkový mys je de facto rozšířením chodníku k tramvajovému tělesu či kjízdniému pruhu – vyčkávací prostor zastávky je přímo propojen s chodníkem, zastávka je tedy bezbariérově přístupná v celé délce. Přirozeně zklidňuje dopravu v prostoru zastávky a má potenciál výrazně kultivovat veřejné prostranství v prostoru zastávky. Je vhodný zejména na zklidněné komunikace, případně náměstí či náves.

Zastávkový ostrůvek se používá především v ulicích zatížených motorovou dopravou. Musí být prostorově komfortní, v případě

nedostatku místa je třeba, i přes zatížení ulice motorovou dopravou, zvolit jiný stavební typ zastávkového stanoviště.

„Zátková zastávka“ je obdobou zastávkového mysu či zastávky v jízdním pruhu, která však stavebním uspořádáním prostoru zastávky znemožňuje ostatním vozidlům objíždění vozidla veřejné dopravy, což má zásadní pozitivní dopad na bezpečnost pěších vazeb, a tím i na bezpečnost cestujících přicházejících na zastávku či odcházejících ze zastávky po výstupu z vozidla.



Obr. 5. Stavební typy zastávkových stanovišť (zleva a shora: zastávkový mys, ostrůvek, ostrůvek se zvýšenou vozovkou a „vídeňská“ zastávka).  
(zdroj: Standard zastávek PID [13])

### 6.3. Přestupní body [14]

Přestup musí být pro cestujícího co nejsnazší, a proto je nutné navrhovat co nejpřímější a nejkratší cesty, které jsou zřejmé na první pohled. Všechna řešení musí být bezbariérová a nemají obsahovat ztracené spády.

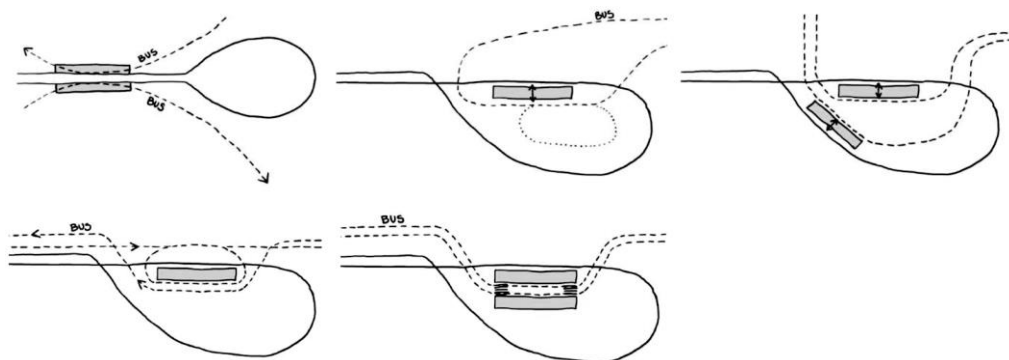
Přestupní body se pro účely tohoto standardu dělí na malé přestupní body (typicky přestupní body povrchové dopravy) a velké přestupní body (přestupní body vznikající u stanice a zastávek páteřních systémů).

Ideálním řešením, kterého lze dosáhnout u malých přestupních bodů, je přestup v rámci jednoho zastávkového stanoviště. Jedná se tedy o zastávku pro dvě tramvajové soupravy, dva autobusy nebo o sdruženou zastávku pro autobus i tramvaj. Pokud je nutné k přestupu využít různá zastávková stanoviště, je nutné je realizovat co nejkratší cestou. Typickým příkladem jsou zastávky u křižovatek, kde je důležité umístit všechna stanoviště co nejbližší křižovatce, nejen aby byla

přestupní vazba co nejkratší, ale také aby byla zajištěna vizuální vazba mezi jednotlivými stanovišti. V těchto případech se preferuje použití krátkých zastávek (na jedno vozidlo nebo soupravu) a umístění zastávkových stanovišť za křižovatkou.

Specifickým případem přestupního bodu jsou zastávky, kde dochází k přestupu mezi linkami tramvají a autobusů v návazném směru na konci tramvajových tratí, nejčastěji v souvislosti s tramvajovou smyčkou. I zde je vhodné zajistit co nejkratší přestupní vazbu. Optimální je vytvoření sdružené zastávky tramvají a autobusů ještě před tramvajovou smyčkou.

Vhodným uspořádáním, které umožňuje rovněž vytvoření komfortního přestupu hrana-hrana, je využití prostoru smyčky, do které se umístí zastávková stanoviště se souběžnými nástupními hranami. Prostor smyčky může být současně využit jako odstavná plocha autobusů a společné zázemí. Nezbytný je v takto využitě smyčce obrat tramvají ve směru hodinových ručiček.



Obr. 6. Příklady uspořádání obratišť a sdružených zastávek tram + bus.  
(zdroj: Standard zastávek PID [14])

#### 6.4. Vybavení zastávek a přestupních bodů [15]

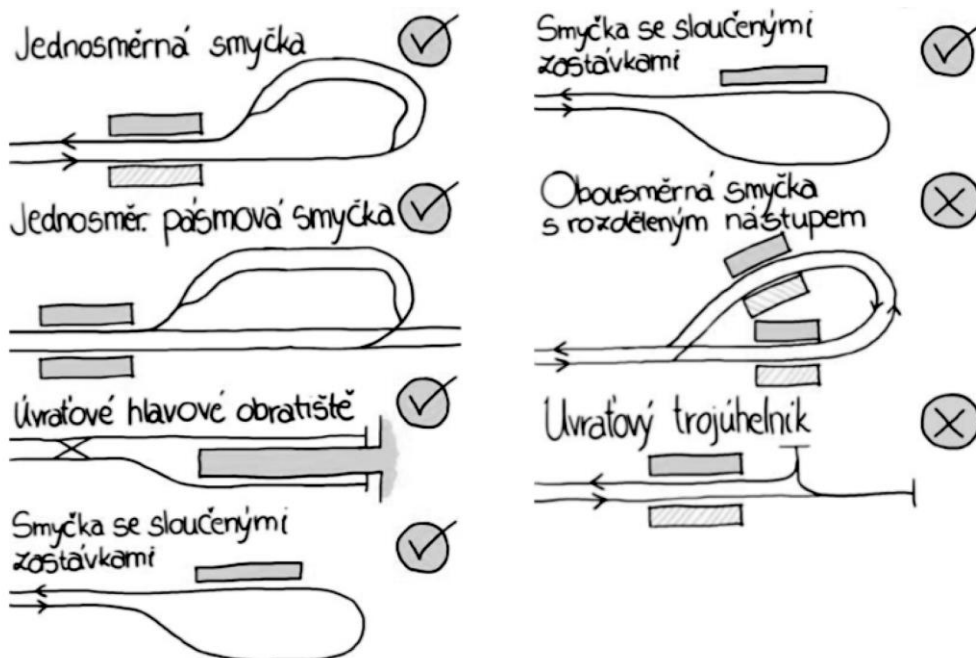
Dle manuálu jsou zastávky vybaveny jednotlivými prvky vybavení dle jejich kategorizace. Pro každou kategorii je přiřazena určitá minimální výbava, kterou lze dle místních potřeb doplnit o další nadstandardní prvky. Některé prvky vybavení zastávek a přestupních bodů slouží zároveň jako jednoznačná identifikace systému PID (označnick, elektronický panel, jízdenkový automat, informační kiosek), a je tedy požadován jejich jednotný design a barevnost na celém území systému PID. Některé prvky mají naopak návaznost na mobiliář sídla či design konkrétního místa (přístřešek, odpadkový koš, lavička, hodiny, zábradlí apod.), zejména v případech umístění zastávky na významných veřejných prostranstvích. Jejich design a barevnost proto nejsou jednotné a můžou se mezi jednotlivými sídly lišit.

## 6.5. Tramvajová obřatiště [16]

Zejména v urbanizovaném prostředí je optimální pro obrat tramvajů citlivě využít uliční síť v okolí, respektive smyčku optimálně zasadit do kontextu dané oblasti tak, aby nevznikaly nežádoucí zbytkové plochy. Ideálním řešením je bloková smyčka, jejímž principem je obrat tramvajů objezdem bloku budov, čímž nevznikají dodatečné prostorové nároky na realizaci obřatiště v území. Vhodnou alternativou blokové smyčky je zasazení smyčky do významného veřejného prostranství (park, náměstí apod.).

Vnitřní plochu smyček lze využít pro realizaci přestupního bodu, případně pro autobusové obřatiště či odstavy. V takovém případě je mnohdy vhodné tzv. „překřížit“ směry.

Zásadní je umístění nástupní zastávky, která by měla být společná pro všechny projíždějící linky (v rámci smyčky má být pouze jedna nástupní zastávka a u mezilehlé smyčky má sloužit pro nástup zastávka na hlavní trati).



Obr. 7. Typy tramvajových obřatišť.  
(zdroj: Standard zastávek PID [16])

## 6.6. Železniční stanice a zastávky [17]

V železniční dopravě se dokument věnuje hlavně stanicím a zastávkám linek „S“, tedy vlaků integrovaných do Pražské integrované dopravy. Do systému jsou zahrnuty osobní vlaky a vybrané spěšné vlaky

a rychlíky obsluhující zájmové území. Tyto vlaky tvoří páteřní síť linek PID. Stanice a zastávky manuál člení do pěti kategorií, v tomto případě podle denního obratu cestujících.

Přednádražní prostor není jen prostranství před výpravní budovou, ale územím navazujícím na kolejiště v místě přístupu na nástupiště. Přednádražní prostor je proto nutný i u stanic a zastávek, které nemají výpravní budovu. V přednádražním prostoru se nalézá zakončení přístupových komunikací ze širšího okolí (pěších i automobilových) a vyústění přístupové komunikace na nástupiště (podchod, nadchod, centrální přechod). Ve většině případů se v něm nachází výpravní (odbavovací) budova. Do přednádražního prostoru je možno umístit další doplňkové funkce, jako např. obchodní, gastronomické, shromažďovací, administrativní apod. Primárně by se měly tyto provozy umísťovat ve výpravní budově, jen výjimečně mimo.

Přístupové cesty musí být přednostně navrhovány z obou stran kolejiště tak, aby tvořily zároveň spojnicí mezi územími přiléhajícími k oběma stranám kolejiště. Plní tak funkci významné urbanistické osy a spojnice území.

V případě linek „S“ slouží nástupiště zároveň jako prostor pro krátkodobé čekání. Všechna taková nástupiště proto musí být vybavena dostatečně dimenzovanými prostory pro čekání cestujících a poskytovat cestujícím ochranu před povětrnostními vlivy i optimální kapacitu míst k sezení. Vnější nástupiště, která jsou od okolí oddělena protihlukovými stěnami, jsou zcela nevhodná.

## 7. Závěr

Kolejová doprava hraje ve městě nezastupitelnou roli. Zejména díky tomu, že je rychlá a kapacitní, se stává čím dál tím více atraktivní. V minulosti bohužel veřejnému prostoru nebyla věnována taková pozornost, jako je tomu nyní, a tak vznikala, z dnešního pohledu nelogická, řešení. Dnes už naštěstí od ryze technicky pojatých dopravních staveb ustupujeme a snažíme se aplikovat jiná řešení. V první řadě je potřeba každý projekt/stavbu řešit komplexně, zejména se věnovat zapojení do okolí. Žádná dopravní stavba by neměla tvořit prostorovou bariéru.

Velký důraz by měl být kladen na architektonické ztvárnění a prostorové uspořádání těchto staveb, neboť jedno bez druhého nemůže vytvořit úspěšně fungující celek. Použité materiály by měly být kvalitní a odolné a neměly by vyžadovat náročnou údržbu. Vždy však záleží na místních specifikách.

## Literatura

Článek je sestaven z textů jednotlivých dokumentů a doplněn o vlastní názory. Podrobnější informace lze najít v původních dokumentech, na které odkazují číselné poznámky u názvů kapitol.

MELKOVÁ, Pavla a Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy. Kancelář veřejného prostoru. **Manuál tvorby veřejných prostranství hlavního města Prahy**. 1. vyd. Praha: Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy, Sekce detailu města, Kancelář veřejného prostoru, 2014. ISBN 8087931092;9788087931097.

- [1] Kapitola C.1 Uspořádání uličních profilů
- [2] Kapitola C.1.4 Ulice zatížené motorovou dopravou
- [3] Kapitola D.3.2 Nadzemní prvky
- [4] Kapitola D.5.4 Zastávky veřejné dopravy
- [5] Kapitola D.5.4.2 Označnick a informační displej

MELKOVÁ, Pavla a Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy. Kancelář veřejného prostoru. **Povrchy tramvajových tratí hlavního města Prahy**. Praha: Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy, Sekce detailu města, Kancelář veřejného prostoru.

- [6] Kapitola II. Základní kategorie povrchů
- [7] Kapitola II., Část A) Specifická veřejná prostranství
- [8] Kapitola II., Část B) Těleso umístěné ve vozovce
- [9] Kapitola II., Část C) Těleso oddělené od vozovky – pojízditelné
- [10] Kapitola II., Část D) Těleso oddělené od vozovky – nepojízdné
- [11] Kapitola II., Část F) Těleso mimo základní uliční profil

**Regionální organizátor Pražské integrované dopravy a Integrovaná doprava Středočeského kraje. Standard zastávek PID. 1. Vyd. Praha, 2017**

- [12] Kapitola 02.A Prostor zastávky
- [13] Kapitola 02.B Stavební typy zastávkových stanovišť
- [14] Kapitola 05 Přestupní body
- [15] Kapitola 06.A Vybavení zastávek a přestupních bodů
- [16] Kapitola 03.A Tramvajová obratiště
- [17] Kapitola 04 Stanice a zastávky linek „S“

# Odhad skutečného zatížení výhybek VÚŽ Velim pro optimalizaci údržby

Ing. **Lucie Černá**<sup>1</sup>, Ing. **Josef Zbořil**, Ph.D.<sup>2</sup>

*Fakulta stavební VUT v Brně Veveří 331/95, 602 00, Brno*  
*DT – Výhybkárna a strojárna, a.s., Dolní 100, 796 01, Prostějov*  
e-mail\_1: cerna@dtvs.cz,  
e-mail\_2: zborilj@dtvs.cz

## Abstrakt

Příspěvek popisuje současné 2D a 3D skenery pro snímání příčných profilů součástí železničních výhybek a softwarové možnosti pro jejich vyhodnocování, které mohou být využívány pro proaktivní údržbu s cílem zvýšení jejich životnosti a optimalizaci nákladů během životního cyklu. Příspěvek poukazuje na míry svislého opotřebení z opornic a středních částí obou výhybek velkého zkušebního okruhu Výzkumného Ústavu Železničního ve Velimi z období květen 2017 až duben 2018 s cílem optimalizace jejich údržbového plánu skrze odhad jejich skutečného zatížení, s odlišnou degradací oproti běžné trati vlivem poježdění od různých kolejových vozidel a souprav zpravidla před certifikací, v nepravidelném využívání poskytovaných provozních hodin za rok a vyššími rychlostmi. Zkušenosti pak budou také využity při zpracovávání účelné a přehledné formy prediktivního i měřeného rozsahu informací pro nadcházející požadavky BIM (Building Information Modeling) a RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) výhybkových konstrukcí.

## Klíčová slova

Výhybka, skenování, skener, železniční zkušební okruh, CALIPRI C40.

## Real turnout loads estimation at VUZ Velim for maintenance optimization

### Abstract

The paper describes current 2D and 3D scanners for scanning cross sections of railway turnout components and software options for their evaluation, which can be used for proactive maintenance in order to increase their lifetime and optimize life cycle costs. The paper points out the vertical wear rates from the supports and middle parts of both switches of the large test circuit of the Research Institute of Railway in



Velim from May 2017 to April 2018 with the aim of optimizing their maintenance plan by estimating their actual load. of rolling stock and trains, usually prior to certification, in irregular use of operating hours per year and at higher speeds. The experience will also be used in the processing of an efficient and transparent form of predictive and measured range of information for the upcoming requirements of BIM (Building Information Modeling) and RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) turnout structures.

## **Keywords**

Turnout, scanning, scanner, railway test ring, CALIPRI C40.

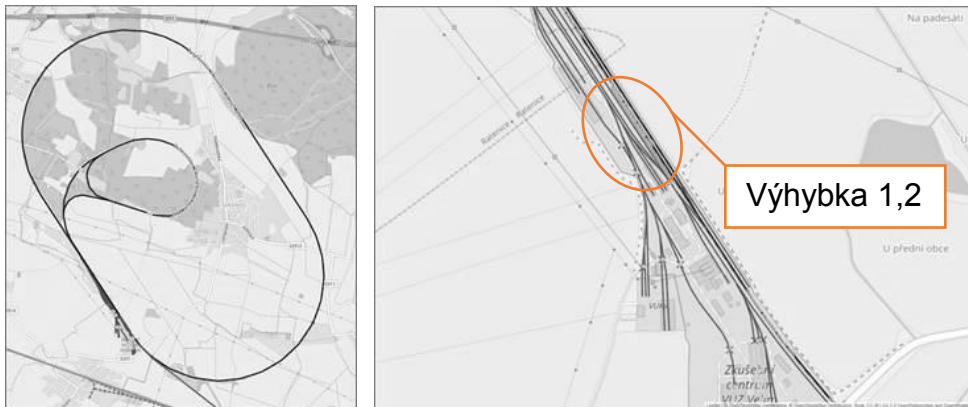
## **1. Úvod**

Cílem příspěvku je přiblížit možnosti sběru digitálních záznamů ve 2D a 3D a softwarových možností pro vyhodnocování, které lze využívat pro aktivní údržbu nejen železničních výhybek. Tato údržba má za cíl zvýšení životnosti a optimalizaci nákladů během životního cyklu. Dnes je známo více než 100 různých opotřebení, defektů a degradačních jevů, které vycházejí z degradace geometrických charakteristik, opotřebení materiálu, trhlin, elektrických poruch apod. Je tedy velmi důležité, aby vady byly zaznamenávány a odhalovány včas, než by se rozrostly ve vady neopravitelné [1].

Příspěvek poukazuje na způsob vyhodnocování dat z 2D skeneru pořízených na dvou výhybkách velkého zkušebního okruhu Výzkumného Ústavu Železničního ve Velimi (VZO VÚŽ Velim) z období května 2017 až dubna 2018. Výsledkem vyhodnocení je tabulka a graf opotřebení kolejnic ve výhybkách. Naměřené a zjištěné informace mohou posloužit jako podklad při zpracovávání požadavků BIM a RAMS výhybek a výhybkových konstrukcí.

### **1.1. Popis měřených výhybek**

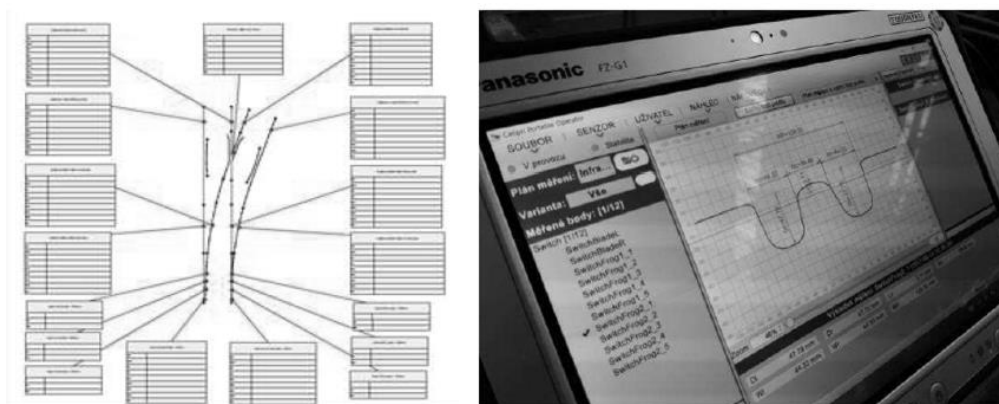
Výzkumný železniční okruh – VZO Velim je dlouhý 13,276 km s maximální rychlostí 210 km/h (230 km/h pro vozy s naklápací skříňí) [2] s výhybkami č. 1 (J60-1:9-300-L-PHS) a č. 2 (J60-1:9-300-P-PHS). Výhybky jsou pojížděny zkoušenými kolejovými vozidly od různých výrobců, různými rychlostmi i zatížením na nápravu. Proto i když jsou obdobné výhybky v trati SŽDC, s.o., s dohledatelnou zátěží, probíhá jejich vizuální kontrola pracovníky DT, pro doporučení údržbových zásahů, v cca půlročních intervalech, při nichž jsou také měřeny příčné profily jejich součástí.



Obr. 1. VÚŽ Velim a umístění výhybek [3]

## 2. Typy skenerů a možnosti vyhodnocování

Na základě zjištění, že pravidelným broušením lze předcházet vzniku rozsáhlých vad na pojižděných součástech výhybek a prodloužit tak jejich životnost, vyšel na SŽDC, s.o. 1.1.2016 v platnost pokyn GŘ č. 10/2015 „Cyklické broušení pojižděných výhybek a výhybkových konstrukcí“, mezi jehož požadavky patří mimo jiné snímání příčných řezů schváleným typem digitálního profiloměru. Umístění příčných řezů určuje tento pokyn, a zároveň se liší typem konstrukce a úhlem odbočení (pro plány měření je hranice výhybek v poměru 1:12) – viz obr 2.



Obr. 2. Schéma s místy měření a náhled na outdoorový tablet skeneru Calipri C40.

V současné době se snímáním příčných řezů dle tohoto předpisu vedle SŽDC, s.o. řídí také fy. DT – Výhybkárna a strojírna, a.s. (DT), PIRELL, s.r.o., Chládek a Tintěra, Pardubice a. s., N+N - konstrukce a dopravní stavby Litoměřice s.r.o. a RENOVA Morávek, s.r.o.

V DT jsou skenery využívány od roku 2009 [4, 5, 6] pro interní projekty v rámci validace srdcovek či jazyků, při renovacích či opravách záпустek pro překování jazykových kolejnic, případných řešení výrobních neshod, nejasnostech při obrábění dílů výhybek a vizualizaci shody odlitku s 3D modelem. V letošním roce byl také 3D skener HandySCAN 700 využit i pro externí zakázku pro Drážní inspekci při řešení mimořádné události v ZST Kostelec u Heřmanova Městce.

Základním rozdílem mezi typy skenerů je ve způsobu sběru dat, a to buďto ve 2D nebo ve 3D. Dalším rozdílem je rychlost pořizování dat – kde pořizování 2D příčných řezů je oproti 3D skenování rychlejší, z důvodu nutnosti přípravy jejich skenované plochy – viz obr. 3.



Obr. 3. 3D skener HandySCAN EXAscan a jeho grafický výstup po vyhodnocení [7]

Skenování 2D skenerem Calipri C40 je ze zkušeností pracovníků DT, oproti skenování 3D skenery (HandySCAN 700 nebo HandySCAN EXAscan) cca 20x-50x rychlejší. Calipri C40 je opticko-laserový přístroj a využívá se pro měření příčného profilu kolejnice před a po broušení, popřípadě ve zvolených intervalech, kdy se sleduje úbytek materiálu vlivem opotřebování.

3D skenery se využívají zejména pro reverzní inženýrství, návrh designu, 3D kontrolu, získávání příčných řezů a zachycení experimentálních a komplexních dat.

Pro tyto a obdobné účely jsou ve světě používány i další skenery jako - Atos III, T-Scan, KS100, MiniProf, PKJ01-Kontura, IKP-5, PRP-BT, RML 3000 [8] nebo Gauge PTS 1435 [9].

Existují také vozíkové skenery, které kontinuálně zaznamenávají data, měření je tedy nepřerušeno a je přesnější než u bodových skenerů. Mezi nejvýznamnější typy patří:

**Krab** – Je určen pro měření geometrických parametrů tratí o libovolném rozchodu. Na rozdíl od měřícího vozu nebo drezíny neměř

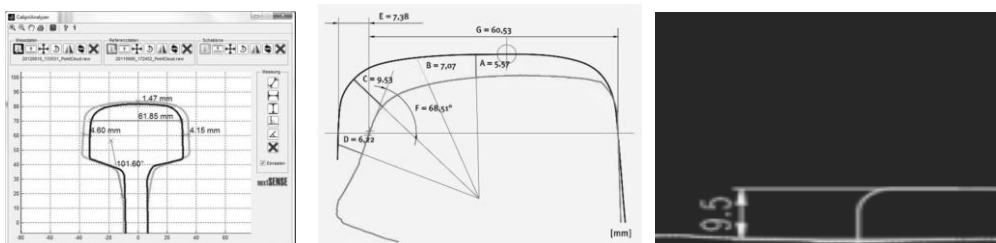
data pod zatížením. Skládá se z trojúhelníkového podvozku, který nese teleskopickou měřící osu. Má šest kontaktních snímačů, které zaznamenávají veličiny (směr koleje levého a pravého kolejnicového pásu; podélná výška koleje levého a pravého kolejnicového pásu; celkové převýšení koleje; dynamické převýšení koleje; kvazistatické převýšení koleje; celkový rozchod koleje; dynamický rozchod koleje; křivost koleje). Využívá se na přejímkách stavebních prací, pro měření regionálních drah, staničních kolejí, vleček a jako záznamové a řídicí zařízení automatické strojní podbíječky.

**Felix** – Je schopen sledovat stav výhybek a výhybkových konstrukcí stejně jako stav dráhy. Je vybaven profilometry pro vytvoření 3D rekonstrukcí kontrolovaných částí, provádí automatickou kontrolu opotřebenosti výhybek a jejich součástí skenováním kontrolovaného segmentu. Systém ukládá, zpracovává a zobrazuje v reálném čase a místě všechna měření a vytváří konkrétní zprávy. [10]

**Mermec** – Jde o bezkontaktní měřící systém s funkcemi zobrazením tří profilů pořízených třemi kamerami, sloučením linearizovaného vnitřního a vnějšího profilu, zobrazováním snímků z fotoaparátu ve vyhrazených oknech, zobrazováním informací pocházejících z lokalizačního systému a ukládání dat. [1]

## 2.1. Možnosti vyhodnocování dat

Vyhodnocování naměřených dat probíhá, jak ručně např. v sw. Calipri Analyzer nebo sw. AutoCAD, tak automaticky např. v sw. Railcloud [11] – viz Obr. 4.



Obr. 4. Sw. Calipri Analyzer (vlevo), Railcloud (střed), AutoCAD (vpravo)

## 3. Sběr dat a vyhodnocení

Výhybky č. 1 a č. 2 na VZO Velim byly vloženy 18.12.2015 a základní broušení na nich bylo provedeno 10.4.2016 – viz Obr. 5.



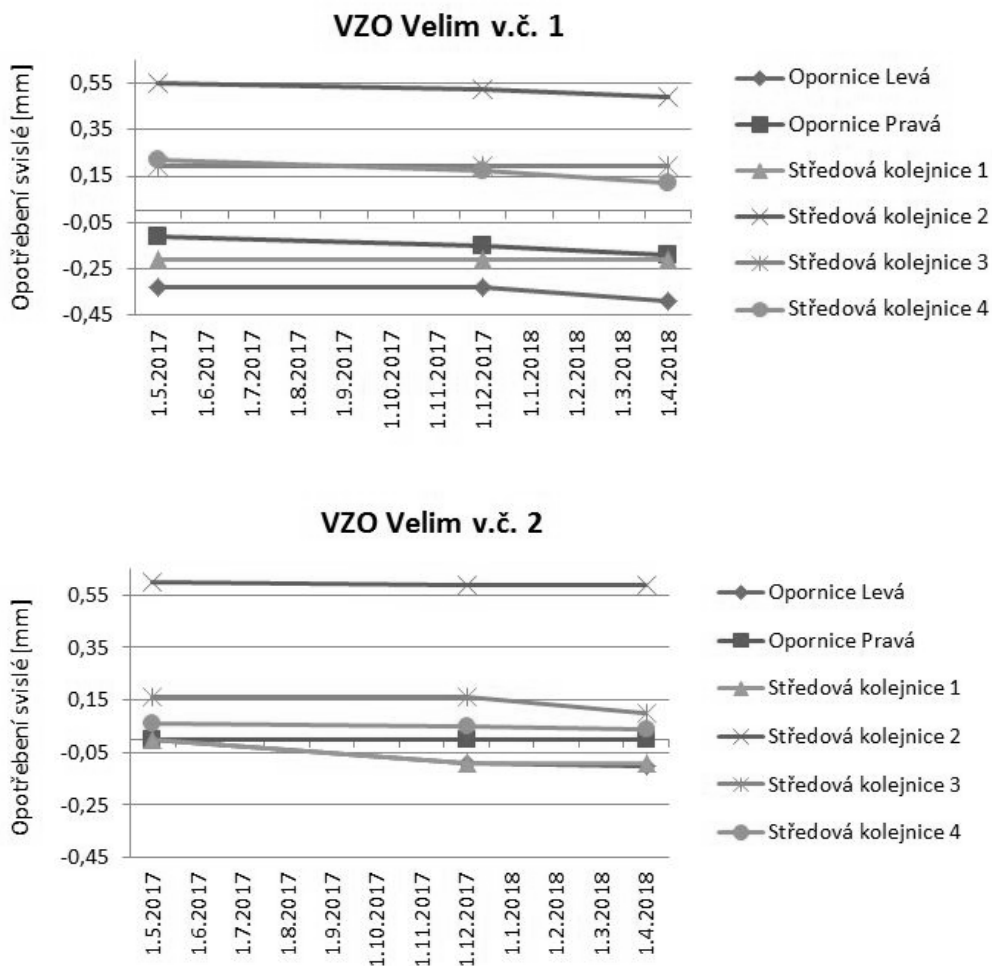
Obr. 5. Pokládka a základní broušení v. č. 1 a č. 2 na VZO Velim

Od 4/2016 bylo také v DT zahájeno používání nově pořízeného skeneru Calipri C40 a skenování těchto výhybek patřilo mezi první snímané - a první během deštivého počasí. Výstupy měření poté vykazovaly hrubé chyby a nebyly tak do vyhodnocování v sw. Calipri Analyzer zahrnuty, přičemž se rozsah vyhodnocení zaměřil jen na opornice a kolejnice středních částí z následujících termínů skenování ve dnech 4.5.2017, 19.12.2017 a 26.4.2018 – viz Tab. 1 a Obr. 6.

Výhybka č.1	Opotřebení svislé [mm]					
	10.04.2016	04.05.2017	19.12.2017	26.04.2018	Přímý směr 4.5.2017 - 26.4.2018	Odbočný směr 4.5.2017 - 26.4.2018
Opornice levá OL	0	-0.33	-0.33	-0.39	0.06	-
Opornice pravá OP	0	-0.11	-0.15	-0.19	0.08	-
Středová kolejnice ST1	0	-0.11	-0.21	-0.21	-	0
Středová kolejnice ST2	0	0.55	0.52	0.49	0.06	-
Středová kolejnice ST3	0	0.19	0.19	0.19	-	0
Středová kolejnice ST4	0	0.22	0.17	0.12	0.1	-
<b>Průměr středových kolejnic</b>	-	-	-	-	<b>0,08</b>	<b>0</b>

Výhybka č.2	Opotřebení svislé [mm]					
	10.04.2016	04.05.2017	19.12.2017	26.04.2018	Přímý směr 4.5.2017 - 26.4.2018	Odbočný směr 4.5.2017 - 26.4.2018
Opornice levá OL	0	0	-0.09	-0.1	0.1	-
Opornice pravá OP	0	0	0	0	0	-
Středová kolejnice ST1	0	0	-0.09	-0.09	0.09	-
Středová kolejnice ST2	0	0.6	0.59	0.59	-	0.01
Středová kolejnice ST3	0	0.16	0.16	0.1	0.06	-
Středová kolejnice ST4	0	0.06	0.05	0.04	-	0.02
<b>Průměr středových kolejnic</b>	-	-	-	-	<b>0,075</b>	<b>0,015</b>

Tab. 1. Opotřebení opornic a kolejnic středních částí výhybek č. 1 a č. 2 VZO Velim



Obr. 6. Opotřebení opornic a kolejnic středních částí výhybek č. 1 a č. 2 VZO Velim

Podle informací ze dne 11. října 2018 od vedoucího oddělení správy ZC dosahuje provozní zatížení na VZO Velim cca 5 mil. HRT/rok, což odpovídá 6,5 tisíce provozních hodin/rok, které jsou rozprostřeny do 355 provozních dní. Toto zatížení odpovídá technickému maximu okruhu a vyšší hodnoty by se dalo teoreticky dosáhnout vyšším podílem lokomotiv na úkor jednotek.

Ze zjištěných dat je tedy zřejmé, že při této provozní zátěži je během jednoho roku na obou výhybkách svislé opotřebení do 0,1 mm.

## 4. Závěr

Příspěvek shrnuje aktuální možnosti skenerů a jejich výhody a popisuje využití 2D skeneru Calipri C40 ve fy. DT při sledování vývoje opotřebení na dvou výhybkách VZO Velim, který je v ČR unikátní a ojedinělý, svým prakticky vysokorychlostním charakterem provozu. Že jsou výhybky pojižděné zejména v přímém směru, potvrzuje i mnohem menší ojetí v odbočném směru.

Tyto výstupy a data z následných měření z 17.12.2018 a 14.5.2019 a poté z cca půlročních intervalů, budou použity pro další zpracování jako vstupy pro zpracovávané požadavky řešení LCC (Life Cycle Cost), RAMS a BIM výhybek a výhybkových konstrukcí v DT – Výhybkárna a strojírna, a.s. a jako modelový příklad pro plánování údržbových prací doporučené DT tuzemským a zahraničním zákazníkům, podle jejich specifických potřeb.

## Literatura

- [1] AURISICCHIO, Giuseppe. Measuring and Inspecting Switches & Crossings with the "SICS Approach" [online]. 2016 [cit. 2019-08-01]. Dostupné z: <http://www.mermecgroup.com/press-room/943/resource-library.php/&res=1088>
- [2] Zkušební centrum VÚŽ Velim [online]. [cit. 2019-08-01]. Dostupné z: <http://www.cdvuz.cz/zkusebni-centrum-vuz-velim/>
- [3] Openrailwaymap [online]. [cit. 2019-08-02]. Dostupné z: <https://www.openrailwaymap.org/>
- [4] HAVLÍČEK, P., NAVRÁTIL, P. Využití 3D skeneru pro hodnocení opotřebení dílů výhybek. In Diagnostika na železniční dopravní cestě 2013. Děčín: Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola strojní, stavební, a dopravní, Děčín, příspěvková organizace, 2013. s. 31-37. ISBN 978-80-260-3695-1.
- [5] HAVLÍČEK, P. Kontrola komponent železničních výhybek pomocí 3D skeneru EXAscan. Nová železniční technika, 2012, roč. 20, č. 3, s. 24-28. ISSN 1210-3942.
- [6] ZBOŘIL, J., KLEMENT, M., HAVLÍČEK, P. Využití skeneru HandyScan 3D EXAscan pro součásti železniční infrastruktury. In Perspektivní technologie a materiály pro technické aplikace. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2009. s. 35-40. ISBN 978-80-7395-046-0.
- [7] Výzkum a vývoj [online]. [cit. 2019-08-02]. Dostupné z: <https://www.dtvz.cz/vyzkum-a-vyvoj-44>
- [8] ZBOŘIL, Josef. Zvyšování životnosti součástí výhybek a výhybkových konstrukcí v trendu Průmyslu 4.0. In: Vědeckotechnický Sborník ČD a.s.. 44/2017. Praha: Generální ředitelství Českých drah, 2017, s. 236-253. ISSN 1214-9047.

- [9] Digital switch and rail profile gauge PTS 1435 [online]. [cit. 2019-08-01]. Dostupné z: <https://www.fcsrail.com/en/http-www-fcsrail-com-en-category-equipment-for-measuring-and-checking/switch-and-rail-profile-gauge-pts-1435>
- [10] Felix, the mobile robot for railway switches & crossings - Loccioni. In: [Www.loccioni.com](http://www.loccioni.com) [online]. 2016 [cit. 2019-08-01]. Dostupné z: <https://www.loccioni.com/wp-content/uploads/2018/08/loccioni-felix-a2-brochure.pdf>
- [11] Railcloud [online]. [cit. 2019-08-02]. Dostupné z: <https://auttech.ch/en/products/rail-cloud/>

### **Poděkování**

*Poděkování za konzultace a poskytnuté informace Ing. Miroslavu Hozovi, vedoucímu oddělení správy ZC na Výzkumném Ústavu Železničním, a.s. v roce 2018.*





# JAK VYJET NA STÁŽ?

1



## KAM POJEDEŠ?

prohlédni si destinace na [www.iaeste.cz](http://www.iaeste.cz), ověř si, zda splňuješ podmínky a spočítej si kolik tě bude stáť celkem stát

2



## REGISTRACE

připrav si potřebné dokumenty: pro registraci budeš potřebovat CV a výpis předmětů v angličtině

3



## VÝBĚR

největší zájem je o stáže na léto, které zveřejňujeme na ZAČÁTKU ÚNORA, registrovaným přijde upozorňující e-mail

4



## POHOVOR

na pohovoru v angličtině ověříme tvou vhodnost na vybranou stáť

5



## NOMINACE

předej podklady pro nominaci a zaplať účastnický poplatek

6



## AKCEPTACE!!!

zaměstnavatel tě v zahraničí přijal!  
**POTVRĚ SVOU PRAXI**

7



## PŘIPRAV SE

před odjezdem je potřeba zajistit letenky, víza, cestovní doklady, očkování...  
...a můžeš balit

8



## UŽIJI SI TO!

nové zkušenosti, praxe z oboru, přátelé z celého světa, cestování

9



## REPORT

po návratu vyplň trainee report a nahraj fotky, část poplatku ti vrátíme

# Vývoj kvality geometrie koleje

Ing. Erik Dušek<sup>1</sup>

*Fakulta stavební VUT v Brně,  
Veveří 331/95, 602 00 Brno  
e-mail\_1: erik.dusek@vutbr.cz*

## Abstrakt

Článek se zabývá vyhodnocením vývoje kvality geometrie koleje v úseku koridorové železniční trati č. 316A Nedakonice – Břeclav. Vývoj kvality geometrie koleje je hodnocen pomocí lineární regrese směrodatnými odchylkami geometrických parametrů koleje. Součástí článku je detailní rozbor vývoje kvality výšky koleje.

## Klíčová slova

Kvalita geometrie koleje, geometrické parametry koleje, lineární regrese, údržba, podbíjení.

## Quality of the Track Geometry Progress

### Abstract

The contribution is focused on evaluation of track geometry progress in the section of mainline track no. 316A Nedakonice – Břeclav. The track geometry progress is evaluated by linear regression through the standard deviation of the track geometry parameters. The article also brings detailed analysis of quality of the track longitudinal level.

### Keywords

Quality of the track geometry, track geometry, linear regression, maintenance, tamping.

## 1. Úvod

Technický stav železničních tratí se v průběhu času zhoršuje, proto je nutné v průběhu času provádět jejich údržbu a obnovu. Četnost a kvalita prováděné údržby ovlivňuje pravidelnost a v krajním případě i bezpečnost železniční dopravy.

## 2. Popis současného stavu

### 2.1. Druhy údržby

Údržba se dělí na pravidelnou, korektivní a prediktivní.

Pravidelná (cyklická) údržba spočívá v rozdělení tratí do kategorií podle důležitosti a dopravní zátěže. Tratě se pravidelně opravují. Více zatížené tratě se opravují častěji než méně zatížené. Výhoda tohoto přístupu je v předvídatelnosti nasazení pracovních sil. Díky tomu, že se koleje opravují v celé délce ve stejnou dobu a využívá se materiál s přibližně stejnými vlastnostmi, kvalita koleje se po délce vyvíjí více stejnoměrně. Nevýhodou je neekonomický přístup, kdy se opravují úseky v dobrém stavu.

Korektivní údržba vznikla ve snaze snížit finanční náročnost údržby železničních tratí. V rámci tohoto přístupu se údržba plánuje na základě aktuálního stavu tratí. Jejich stav se zjišťuje pomocí pravidelných měření. V případě výskytu závady, se dále postupuje podle míry její závažnosti. Není-li odchylka velká, je dotčené místo pouze sledováno. Je-li porucha vážnějšího rázu, dojde buď k naplánování údržby, nebo k jejímu bezodkladnému odstranění. Výhodou této metody je menší finanční náročnost díky tomu, že se údržba neprovádí tam, kde není třeba. Nevýhodou je špatná předvídatelnost míry nasazení pracovních sil. Na rozdíl od předchozího přístupu zde hrozí, že se kvalita jednotlivých úseků koleje od sebe začne v průběhu času více lišit, podle toho jak často v nich probíhá údržba.

Prediktivní údržba řeší problém předchozího přístupu k provádění údržby tím, že jsou opravy plánovány na základě předpovědi vývoje kvality geometrie koleje. Díky tomu se dá lépe a spolehlivěji rozvrhnout kapacity pracovních sil a zároveň má správce přehled o dlouhodobém vývoji kvality železničních tratí, tj. může se lépe rozhodnout, jestli dává smysl daný úsek opravit nebo raději rekonstruovat.

### 2.2. Měření kvality geometrie koleje

Technický stav koleje se zjišťuje vyhodnocením geometrických parametrů koleje (GPK), které se měří za provozu měřícím vozem na celostátních tratích a měřicí drezínou na regionálních tratích. Staniční koleje a vlečky se měří malou měřicí drezínou. Kratší úseky lze také měřit

ručním vozíkem KRAB, na rozdíl od prvních tří měřicích prostředků ale GPK neměří pod zatížením. Naměřená data se vyhodnocují lokálně a úsekově. Lokální hodnocení spočívá v hledání lokálních závad, kde GPK překračují stanovené mezní hladiny. V úsekovém hodnocení se sleduje kvalita kratších úseků koleje.

V současné době se údržba plánuje převážně na základě lokálních závad. Úsekové hodnocení místní správce tratí nijak nezavazuje a je diskutabilní, zda je pro ně užitečné vzhledem k tomu, že si pod ním většina z nich nic nepředstaví. Úsekové hodnocení slouží zatím jen při rozhodování o přerozdělování finančních prostředků na údržbu jednotlivým místním správám tratí.

### 3. Metodika

Od Technické ústředny dopravní cesty (TÚDC) byla získána data z měřicího vozu z dvoukolejné železniční trati č. 316A Nedakonice – Břeclav. Data byla zpracována a vyhodnocena v programu MATLAB. Dále byly od správce tratí získány informace o provedené údržbě GPK ve sledovaném úseku.

Při hodnocení kvality geometrie koleje se kolej rozdělí na 200 m úseky (začínají v sudých hektometrech tratí), na kterých se z naměřených GPK vypočítají směrodatné odchytky (SDO) dle vztahu:

$$SDO = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

kde  $SDO$  je směrodatná odchytky hodnoceného parametru,  
 $N$  je počet vzorků měření,  
 $x_i$  je hodnota parametru (odpovídající odchylce od střednice).

SDO poskytují informaci o tom, jak hodně jsou hodnoty daného parametru rozptýlené kolem střednice. Čím plynulejší je průběh hodnot, tím nižší je SDO. Na základě SDO jednotlivých GPK můžeme hodnotit celkovou kvalitu konkrétního úseku koleje.

Vývoj kvality geometrie koleje byl vyhodnocován za pomoci lineární regrese metodou nejmenších čtverců. Rovnice regresní přímky má tvar:

$$SDO = a \cdot t + b$$

kde  $SDO$  je směrodatná odchytky hodnoceného parametru,  
 $t$  je čas, kdy proběhlo měření,  $a$  je směrnice regresní funkce,  
 $b$  je koeficient posunu na ose  $y$ .

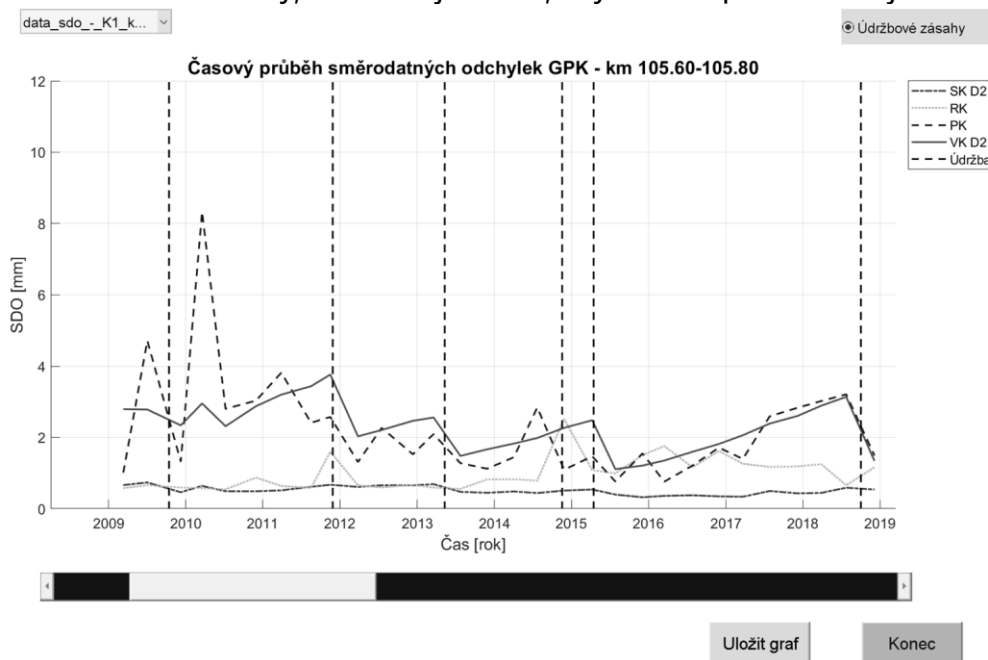
Směrnice (sklon) přímky přitom udává rychlost vývoje kvality geometrie koleje. Po vyjádření z rovnice přímky lze zjistit i dobu, za

kteřou dojde k překročení zvolené mezní hladiny tj., za jak dlouho je třeba naplánovat údržbu.

## 4. Výsledky

### 4.1. Vývoj kvality geometrie koleje

Pro účely snadnějšího prohlížení kvality koleje v jednotlivých úsecích byla vytvořena aplikace v programu MATLAB. Na Obr. 1 lze vidět v grafickém uživatelském rozhraní (GUI) aplikace graf průběhu SDO hodnocených parametrů, jimiž jsou směr koleje (tmavě šedá čerchovaná čára), rozchod koleje (světle šedá tečkovaná čára), převýšení koleje (tmavě šedá čárkovaná čára) a výška koleje (šedá plná čára). Na vodorovné ose grafu je datum měření v rocích. Součástí grafu jsou také svislé čárkované čáry, znázorňující data, kdy došlo k podbití koleje.



Obr. 1 – GUI aplikace pro prohlížení vývoje kvality GPK

Směr a rozchod koleje se chovají podle očekávání, tj. v průběhu času se prakticky nemění. Ve sledovaném období totiž nedošlo k výměně železničního svršku a úsek je ve směrové přímé, díky tomu nevzniká velké boční ojetí kolejnic ani se nezhoršuje plynulost směru koleje vlivem příčných sil od projíždějících vozidel.

Výška koleje (VK) se chová podle předpokladů pouze částečně. Po provedených podbitích se v drtivé většině případů hodnota SDO snížila,

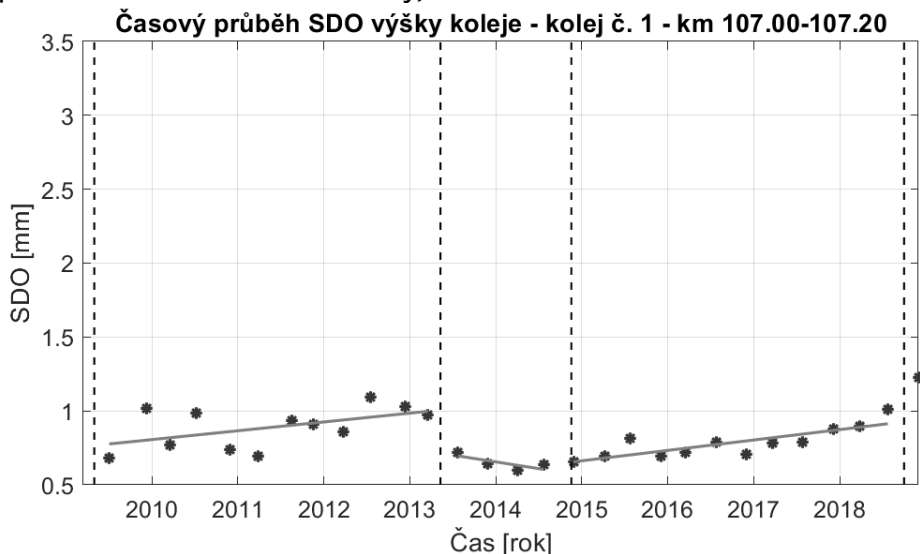
což znamená, že došlo ke zlepšení kvality VK. V časových úsecích mezi jednotlivými podbíjenými se kvalita VK postupně zhoršovala. Nepotvrdil se však předpoklad, že se zhoršování kvality VK mezi jednotlivými cykly podbíjení zrychluje. Ani míra zlepšení kvality VK vlivem podbití není konstantní a to, ani v rámci jednoho úseku koleje.

Oproti VK je průběh kvality převýšení koleje v průběhu času mnohem více proměnlivý. SDO mezi jednotlivými měřeními značně kolísá a to, i v rámci jednoho podbíjecího cyklu. SDO převýšení koleje také dosahuje nejvyšších průměrných hodnot.

Při pohledu na průběh SDO hodnocených parametrů po délce sledované koleje je patrné, že se sousední úseky vzájemně podobají. Průběh kvality se tudíž vyvíjí analogicky na úsecích delších než 200 m. Dalším zajímavým faktem je, že poslední cyklus mezi podbíjenými je zřetelně delší než ty předchozí a zároveň průměrná hodnota kvality geometrie koleje i rychlost jejího zhoršování je nejpříznivější.

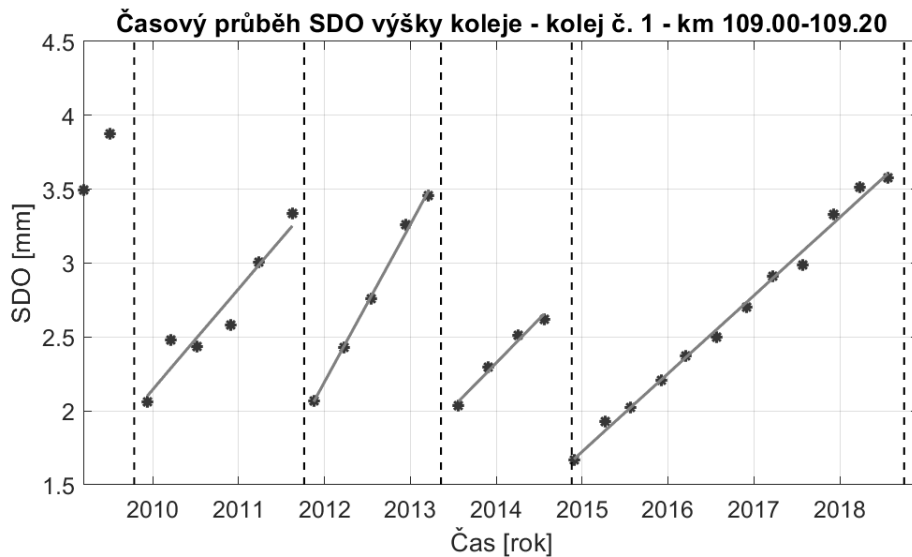
## 5.2. Průběh kvality výšky koleje

Byla provedena lineární regrese SDO výšky koleje. Na Obr. 2 a 3 je černými tečkami vyobrazený průběh SDO výšky koleje a tenkou plnou čarou jsou vyznačeny regresní přímky počítané z hodnot mezi podbitími (opět svislé šedé čárkované čáry).



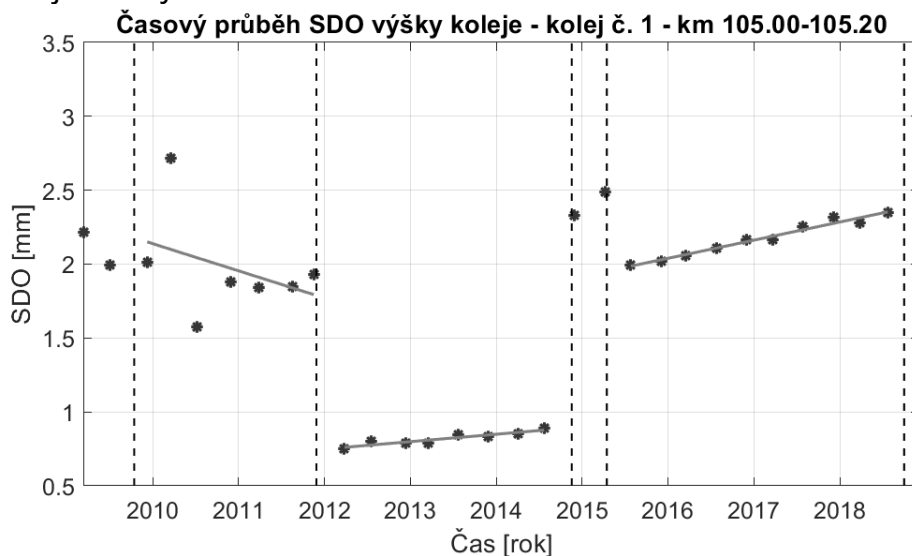
Obr. 2 – Průběh kvality výšky koleje č. 1 v km 107,0-107,2

Obr. 2 znázorňuje průběh kvality VK v jednom z lepších úseků, kde SDO mírně kolísá kolem regresních přímek a po jednotlivých podbitích se příliš nemění.



Obr. 3 – Průběh kvality výšky koleje č. 1 v km 109,0-109,2

Na Obr. 3 je ukázka průběhu kvality VK v méně kvalitních úsecích, kde SDO kolem regresních přímek zpravidla příliš nekolísá, ale přímky jsou znatelně strmější. Z Obr. 3 se také zdá, že první tři podbití mají přibližně stejný účinek, zatímco čtvrté má účinek vyšší a zároveň je délka čtvrtého podbíjecího cyklu znatelně delší.



Obr. 4 – Průběh kvality výšky koleje č. 1 v km 105,0-105,2

Jak ukazuje Obr. 4, v některých úsecích se vývoj kvality VK značně odlišuje od předpokládaného cyklického chování, kde se kvalita zhoršuje postupně.

### 5.3. Rychlost zhoršování kvality výšky koleje

Ve snaze o lepší pochopení vývoje kvality VK, bylo provedeno několik porovnání směrnic regresních přímk.

Nejdříve byly srovnávány směrnice mezi jednotlivými údržbovými cykly v rámci jednoho úseků koleje. V Tab. 1 jsou na ukázkou směrnice z úseků na Obr. 2, 3 a 4. Směrnice se značně liší a to, i u zdánlivě pravidelných cyklů jako jsou ty na Obr. 3, kde se od sebe jednotlivé směrnice liší o desítky procent, viz poslední řádek Tab. 1.

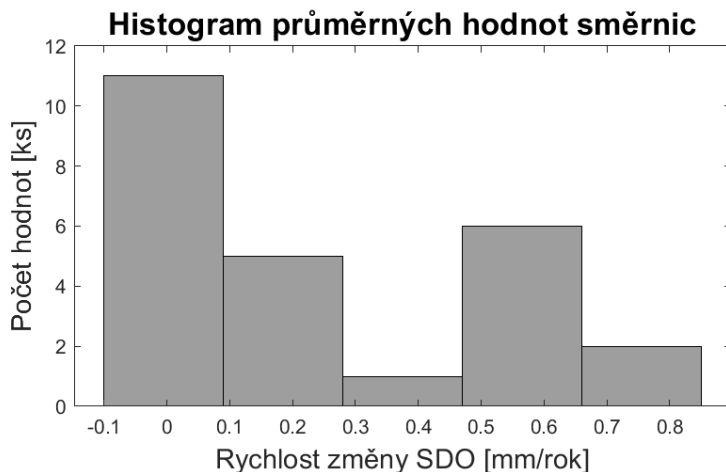
staničení [km]	směrnice regresních přímk [mm/rok]			průměr směrnic [mm/rok]
105,0	-0,18	0,05	0,12	0,00
107,0	0,06	-0,09	0,07	0,01
109,0	0,68	1,07	0,59	0,72

Tab. 1 – Ukázkové směrnice regresních přímk

Dále byly porovnávány směrnice v rámci stejných cyklů mezi jednotlivými úseky koleje. Toto porovnání bylo samozřejmě možné pouze v případě úseků se stejným počtem údržbových cyklů. I v tomto případě se směrnice liší v řádech desítek až stovek procent, viz Tab. 1.

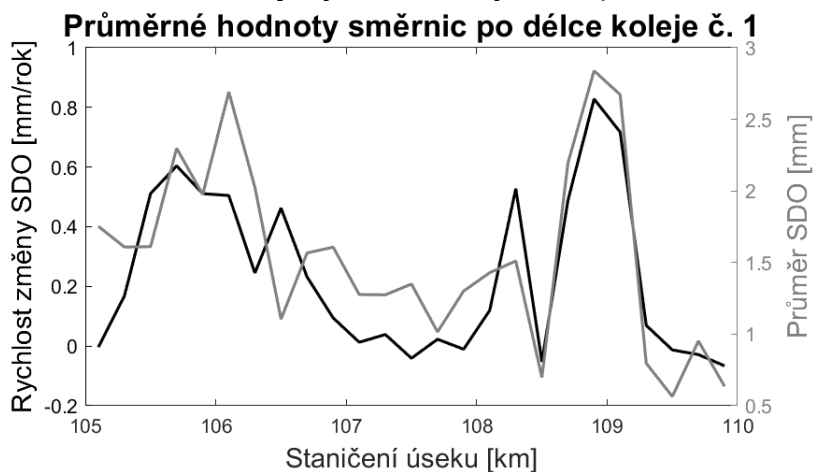
Pro účely dalšího porovnávání úseků mezi sebou byly ze směrnic vypočítány průměrné hodnoty, které jsou v posledním sloupci Tab. 1. Z průměrných hodnot směrnic byl pro lepší přehlednost vytvořen histogram, jenž znázorňuje rozdělení směrnic podle jejich velikosti. Z Obr. 5 je patrné, že je přibližně v polovině mezistaničního úseku rychlost vývoje kvality VK nízká, zatímco v druhé polovině je vyšší.





Obr. 5 – Histogram průměrných hodnot rychlosti změny SDO VK

O kvalitě konkrétního úseku koleje však nerozhoduje pouze rychlost vývoje kvality, ale i průměrná hodnota kvality jako takové, jak je ostatně vidět na Obr. 2 a 4, kde jsou průměrné hodnoty směrnic podobné, ale průměrné hodnoty SDO se značně liší. Srovnání směrnic regresních přímk a průměrných hodnot SDO nabízí Obr. 6. Veličiny mají podobný průběh v některých úsecích koleje. Ve střední části mezistaničního úseku se SDO rychle nemění, ani nedosahuje vysokých hodnot, zatímco v kolem km 106 a 109 se SDO zhoršuje rychle a má vysokou průměrnou hodnotu.



Obr. 6 – Průměrné hodnoty SDO a rychlosti změny SDO po délce koleje

## 5. Diskuze

Z vývoje kvality geometrie koleje je možné zjišťovat účinnost podbíjení a to, z rozdílu SDO před a po podbití, z rychlosti změny SDO a z délky údržbového cyklu. Analýza rychlosti zhoršování kvality a délky

údržbových cyklů by také mohla sloužit k hodnocení použité konstrukce pražcového podloží při rekonstrukci.

Rychlost změny SDO ani její průměrná hodnota nevykazuje statistickou závislost na tom, jestli podloží úseku tvoří násep nebo zářez. Je možné, že jiné faktory jako druh zeminy v podloží nebo funkčnost odvodnění mají na uvedené veličiny větší vliv.

V rámci mezistaničního úseku existují velké rozdíly v chování jednotlivých 200m úseků, následkem čehož nedává smysl provádět údržbu GPK v celém úseku najednou, ale spíše v částech s podobným průběhem kvality geometrie koleje.

## 6. Závěr

Vyhodnocení mezistaničního úseku železniční trati mezi Hodonínem a Rohatcem ukázalo, že analýza vývoje kvality geometrie koleje může být velmi přínosná a to nejen při plánování údržby. Reálný vývoj kvality geometrie koleje je odlišný od teoretických předpokladů o jejím postupném zhoršování.

## Literatura

- [1] PEŇÁZOVÁ, Gabriela. *Vývoj kvality koleje*. Brno, 2019. 30 s., 52 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí práce Ing. Richard Svoboda, Ph.D.
- [2] SVOBODA, R., DUŠEK, E., PEŇÁZOVÁ, G. Vývoj geometrické polohy koleje v čase. In: *Kvalita staveb a oprav tratí železniční dopravní cesty*. Děčín: VOŠ a SPŠ strojní, stavební a dopravní, Děčín, p. o., 2019. s. 21-25. ISBN 978-80-905733-6-9.
- [3] Služební rukojeť ČD 103/4 (S). *Využívání měřících vozů pro železniční svršek s kontinuálním měřením tratě pod zatížením*. Praha: České dráhy, 2007. 43 s. č.j.: 2456/2007.

## Poděkování

*Tento článek byl zpracován v rámci projektu č. LO1408 „AdMAS UP – Advanced Materials, Construction and Technology“, podporovaný ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy, „Národní program udržitelnosti I“.*



# Optimalizační nástroj dopravní obsluhy liniových železničních sítí

Ing. **Tomáš Javořík**, Ph.D. <sup>1</sup>, doc. Ing. **Lukáš Týfa**, Ph.D. <sup>2</sup>

ČVUT v Praze Fakulta dopravní

Konviktská 20, 110 00 Praha 1

e-mail\_1: javorik@fd.cvut.cz

e-mail\_2: tyfa@fd.cvut.cz

## Abstrakt

Článek představuje optimalizační nástroj dopravní obsluhy liniové železniční sítě založený na modelu lineárního matematického programování, jehož výstupem je teoreticky optimální linkové vedení zohledňující typickou přepravní poptávku a obecné provozní náklady systému. Model je aplikován na optimalizaci provozu na trati Praha – Rudná u Prahy – Beroun.

## Klíčová slova

Dopravní obsluha území, lineární programování, optimalizace, železniční doprava, region.

## Optimization Tool for Transportation Service of Linear Railway Networks

### Abstract

The paper presents optimization tool for operation of linear railway network. This tool is based on linear mathematic programming. Output of this tool is optimal line routing, which considers typical transport demand and general operational costs of the system. The tool is applied for service optimization of railway line Praha – Rudná u Prahy – Beroun

### Keywords

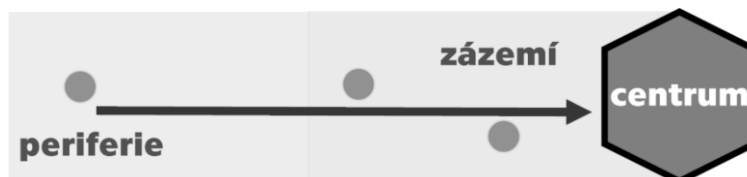
Areal transport services, linear programming, optimization, railway transport, region.

## 1. Úvod

Článek se zaměřuje na segment kolejové dopravy, která zajišťuje dopravní obsluhu území s jednoduše vymezenou vazbou přepravní poptávky mezi centrem a přilehlým regionem. Kolejová doprava může být z hlediska dlouhodobých snah o hledání efektivního a udržitelného řešení dopravní obsluhy území jednou ze správných cest. Je proto potřeba zjistit, ve kterých technických a provozních oblastech lze její potenciál vhodně rozvinout a poskytnout k tomu podpůrné a rozhodovací nástroje. Článek představuje optimalizační model dopravní obsluhy tzv. liniové železniční sítě (viz kap. 3.). Model optimalizuje linkové vedení na liniové železniční síti, které tak zohledňuje základní technické a provozní uspořádání systému (dopravní nabídka) a obsluhované přepravní vazby (přepravní poptávka), přičemž výchozím optimalizačním kritériem jsou obecně provozní náklady takového systému obsluhy.

## 2. Dopravní obsluha regionu

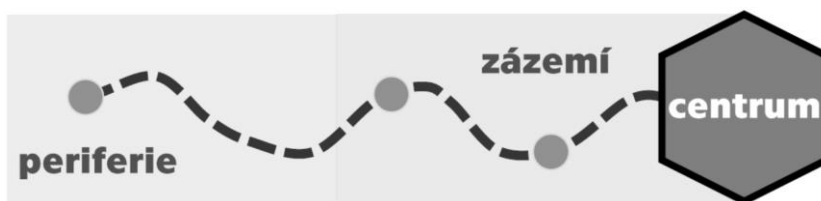
Jednotlivé definice pojmu „region“ se přirozeně různí, obecně se jedná o území vymezené výsledkem vzájemných vztahů přírodních a sociálních prvků či jevů v realitě [1]. Z hlediska dopravní obsluhy území jsou podstatné tzv. heterogenní regiony, jelikož jsou uvnitř propojeny intenzivními vztahy. Za významné příklady heterogenních regionů lze považovat regiony nodální (Obr. 1.). Základním předpokladem pro vymezení nodálního regionu je existence jádra. Je to oblast, kolem které je region vymezen a která vytváří určitou poptávku, na kterou danými toky reaguje zázemí a periferie. Na funkci a význam jader regionů má rozhodující vliv jejich poloha v území ve vztahu k jednotlivým dopravním systémům. Z hlediska dopravy je proto takové vymezení regionu vhodné pro sledování typických přepravních vazeb a plánování příslušné dopravní nabídky. Typickými představiteli nodálních regionů [2] jsou regiony dojížděky za prací (dojížděkové regiony), migrační regiony, spádové regiony obslužných zařízení (centra služeb) aj.



Obr. 1. Znázornění charakteru nodálního regionu.

Veřejným zájmem z pozice spravování státu a z hlediska životního prostředí je samozřejmě převedení co největších přepravních proudů cestujících právě do veřejné hromadné dopravy (VHD). Určující faktory [3], které ovlivňují plánování a optimalizaci systému VHD na straně provozní i na straně technické, jsou: rychlost (resp. cestovní doba), četnost spojení a přestupní vazby.

Dopravní síť a její infrastrukturu si lze představit jako hranově ohodnocený graf [4]. V případě železniční (obecně kolejové) dopravy tvoří hrany sítě jednotlivé tratě, resp. traťové úseky, jejichž ohodnocením jsou obvykle dané technické a provozní parametry. Uzly takového grafu tvoří body na železniční síti, které jsou rozhodné z hlediska přístupu k infrastruktuře z vnějšku nebo jsou naopak důležité pro její vnitřní strukturu a organizaci (dopravní a přepravní stanoviště). V případě dopravní obsluhy nodálních regionů si lze takovou síť teoreticky idealizovat radiálním uspořádáním vůči centru (Obr. 2.), byť reálné pojetí se bude tomuto uspořádání samozřejmě běžně vymykat.



Obr. 2. Idealizované znázornění dopravní sítě nodálního regionu.

### 3. Optimalizace dopravní obsluhy liniové železniční sítě

Dle poznatků o typických přepravních vazbách v rámci nodálních regionů a principů jejich dopravní obsluhy je pro ně vymezen nosný dopravní systém. Uvažována je železniční síť, která propojuje centrum regionu s jeho zázemím. Má zpravidla radiální směr a nevětví se, jde tedy o tzv. **liniovou železniční síť**. Při obsluze uzlů (stanic a zastávek) takto vymezené železniční sítě se uvažuje zavedení periodického (resp. taktového) jízdního řádu v určitém linkovém vedení, tzn. mezi spoji na síti je stanoven pravidelný interval dle provozních period dne (špičky, sedla aj.) a spoje tvoří jednu či více linek (každá linka má stejný výchozí a koncový uzel na síti).

**Řešený problém lze definovat jako optimalizaci dopravní nabídky na liniové železniční síti při známé přepravní poptávce charakteristické v nodálních regionech a při zohlednění určeného optimalizačního kritéria.**

### 3.1. Model dopravní obsluhy liniové železniční sítě

Cílem modelu je navrhnout optimální linkové vedení na liniové železniční síti, které zohledňuje její základní technicko-provozní uspořádání (dopravní nabídka) a jí obsluhované přepravní vazby (přepravní poptávka), přičemž výchozím optimalizačním kritériem jsou obecné provozní náklady. Model je sestaven na základě teoretických poznatků pro návrh linkového vedení využívajících metod operačního výzkumu v úlohách **lineárního matematického programování**, přičemž je zformulován jako **úloha přiřazení linkového vedení na definovanou dopravní síť**. Použitá metoda vychází z původní formulace metody přiřazení vozidel linkám PRIVOL [5] a dále modifikuje upravený přístup pro návrh linkového vedení veřejné hromadné dopravy s heterogenním vozovým parkem [6].

Je uvažována liniová železniční síť tvořená  $n$  uzly (indexovány  $i, j; i, j = 1, \dots, n$ ). Linky mohou být provozovány mezi jakýmkoliv dvěma uzly. Známá je vzdálenost jednotlivých uzlů sítě mezi sebou, přičemž  $d_{ij}$  [km] je provozní délka linky, a přepravní poptávka  $p_{ij}$  [místo/h] mezi nimi během řešeného období. Zjednodušeně se předpokládá, že přepravní poptávka nezávisí na intervalu spojů, přičemž rozhodující je zatíženější směr. Řešené období je takové, během něž je uvažován rovnoměrný interval mezi spoji linek a přibližně vyrovnaná přepravní poptávka. Linky mohou být provozovány v různých intervalech  $t_a$  [min] ( $t_a = 1, \dots, r$ ), avšak na jedné lince je vždy dodržen stejný interval. Zavedené linky obsluhují všechny uzly na své trase. K obsluze liniové sítě je k dispozici jedna nebo více druhů souprav  $b$  ( $b = 1, \dots, s$ ), které jsou charakterizovány svojí obsaditelností  $k_b$  [místo]. Pro každou soupravu jsou rovněž známy její provozní náklady (resp. cena dopravního výkonu)  $c_b$  [Kč/vlkm], případně jiné ohodnocení dopravního výkonu. Každá linka je vždy obsluhována právě jedním druhem soupravy. Proměnnými modelu jsou **rozhodnutí o provozování linky**  $e_{ijab}$  ( $e_{ijab} \in \{0;1\}$ ; 1 – linka bude provozována, 0 – linka nebude provozována)

**Úkolem je obsloužit liniovou síť jednou či více linkami tak, aby při pokrytí přepravní poptávky v jednotlivých úsecích sítě vzhledem k linkovému intervalu a druhu nasazené soupravy byly náklady na provoz všech linek minimální.**

Účelová funkce dle (1) optimalizuje linkové vedení tak, že **minimalizuje optimalizační kritérium**, kterým jsou celkové provozní náklady na obsluhu liniové sítě během jedné hodiny, přičemž je uvažována obecně hodina špičková.

$$\min f(e) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sum_{a=1}^r \sum_{b=1}^s \frac{60 \cdot d_{ij} \cdot c_b}{t_a} e_{ijab} \quad (1)$$

Omezující podmínky jsou pak uvedeny v (2) až (4).

$$\sum_{a=1}^r \sum_{b=1}^s e_{ijab} \leq 1 \quad \text{pro } i = 1, \dots, (n-1) \\ \text{a } j = (i+1), \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sum_{a=1}^r \sum_{b=1}^s e_{ijab} \leq H \quad (3)$$

$$\sum_{u=1}^i \sum_{v=i+1}^n \sum_{a=1}^r \sum_{b=1}^s \frac{60 \cdot k_b}{t_a} e_{uvab} \geq \sum_{u=1}^i \sum_{v=i+1}^n p_{uv} \quad \text{pro } i = 1, \dots, (n-1) \quad (4)$$

Podmínky (2) zajišťují nasazení jednoho typu soupravy a přidělení jednotného intervalu každé lince. Podmínka (3) omezuje maximální počet  $H$  provozovaných linek. Podmínky (4) zajistí dostatečnou nabídku míst vzhledem k přepravní poptávce.

Řešením uvedeného modelu je počet a konkrétní trasy linek, interval pro každou linku a typ nasazené soupravy, které odpovídají optimálnímu řešení. Optimální řešení nemusí být automaticky výhodné i provozně, proto je výsledky ještě pro praktické použití nutné podrobit provozně-technologické interpretaci včetně zachování vhodné dopravní nabídky vzhledem k charakteru přepravní poptávky.

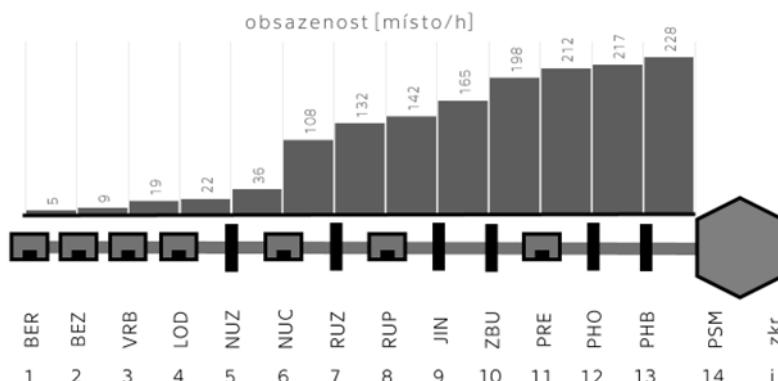
### 3.2. Aplikace navrženého modelu

Funkce a výstupy navrženého modelu jsou aplikovány pro návrh obsluhy na reálné železniční trati. Pro řešení je použit program FICO® Xpress Optimization ve volně dostupné licenci.

K praktické aplikaci modelu byla zvolena železniční trať SŽDC č. 173 (dle platného KJŘ) Praha-Smíchov – Rudná u Prahy – Beroun. V uvedené relaci se jedná o liniovou železniční síť, která zajišťuje základní dopravní obsluhu jihozápadního regionu spádového centra Prahy. K dispozici jsou data o přepravní poptávce během jedné ranní špičkové hodiny (k roku 2018; v rozhodném směru do centra), která vykazují v některých uzlech sítě skokový nárůst (viz Obr. 3.) a jsou tak vhodná pro ověření funkce modelu. V projekčních studiích je mimo jiné uvažováno i s elektrizací této



trati. V praktickém modelu je tak zohledněn provoz jak čistě v nezávislé trakci, tak výhledové elektrické trakci (resp. smíšeném provozu).



zkr.: BER – Beroun, BEZ – Beroun-Závodí, VRB – Vráž u Berouna, LOD – Loděnice, NUZ – Nučice zastávka, NUC – Nučice, RUZ – Rudná zastávka, RUP – Rudná u Prahy, JIN – Jinočany, ZBU – Zbuzany, PRE – P.-Řeporyje, PHO – P.-Holyně, PHB – P.-Hlubočepy, PSM – P.-Smíchov

Obr. 3. Schématické znázornění úsekové přepravní poptávky v aplikovaném modelu.

Provoz na předmětné liniové síti je reprezentován přípustnými intervaly založenými na základní intervalové rodině  $t_{a7,5} = 7,5$  min s ohledem na trvání období řešení 60 min, tzn. 15, 30 a 60 min.

Pro aplikovaný model jsou k dispozici soupravy, které jsou běžně nasazovány do provozu na tratích regionálního významu v ČR. Záměrně jsou zvolena vozidla o vzájemně výrazně rozdílných parametrech kapacity tak, aby byla zajištěna dostatečná nezávislost řešení. Rozhodné parametry přípustných typů souprav jsou uvedeny v Tab. 1. Uvedené parametry vychází z metodiky [7].

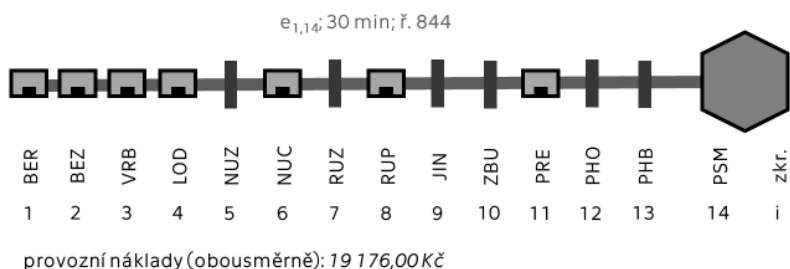
Tab. 1. Přípustné typy souprav použité v aplikovaném modelu

typ soupravy	druh trakce	obsaditelnost [míst]	jednotkové provozní náklady [Kč/vlkm]
motorový vůz 840 RegioSpider	nezávislá motorová	70	86,62
jednotka 650 RegioPanter	závislá elektrická	241	153,23
jednotka 471 CityElefant	závislá elektrická	310	204,22
jednotka 844 RegioShark	závislá nezávislá	120	141,00

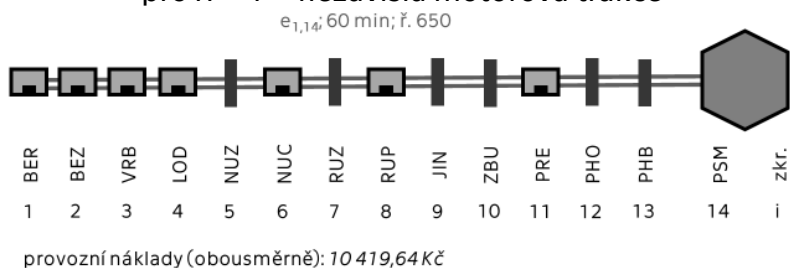
Model je ověřen na uvažovaném počtu linek  $H = 1, 2, 3$ , což simuluje zavedení jednak bezpásmové obsluhy jedinou linkou, jednak obsluhu úseku teoreticky dvěma a třemi linkami.

### Výstup z řešícího nástroje pro $H = 1$

Výsledky zcela logicky směřují k provozu jedné linky v celé délce trasy (viz Obr. 4. a Obr. 5.) Jejich interpretace v tomto případě není potřebná. Vzhledem k typu nasazených souprav je patrné, že s rostoucí vzdáleností od spádového centra dochází k výraznému převisu dopravní nabídky nad poptávkou a nízkému využití souprav. Žádoucí je tedy další optimalizace zvyšováním počtu provozovaných linek.



Obr. 4. Schématické znázornění výsledku aplikovaného modelu pro  $H = 1$  – nezávislá motorová trakce

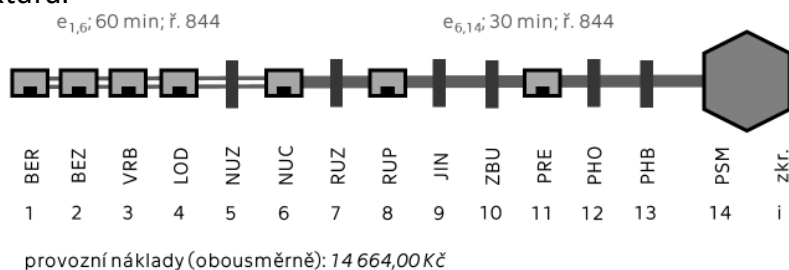


Obr. 5. Schématické znázornění výsledku aplikovaného modelu pro  $H = 1$  – smíšený provoz

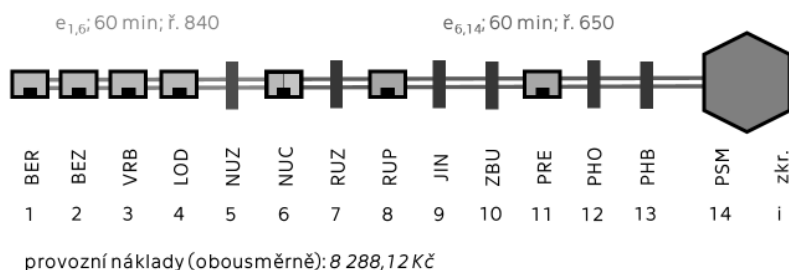
### Výstup z řešícího nástroje pro $H = 2$

Výsledky ukazují, že již zavedením úsekové obsluhy dvěma linkami dochází k výraznému snížení provozních nákladů, přičemž hranicí úseků je v tomto případě žst. Nučice. Nabízí se interpretace výsledků provozu v nezávislé trakci (Obr. 6.), jelikož se jeví jako nevýhodná nutnost přestupu na hranici úseků, tzn. pásmový provoz jedné linky v celé trase s ukončením poloviny spojů v žst. Nučice. V tomto ohledu se prakticky jedná o stávající provozní uspořádání. Interpretace smíšeného provozu není potřebná (Obr. 7.), jelikož takto je dopravní nabídka lépe přizpůsobena poptávce než v předchozím případě obsluhy jedinou linkou

( $H = 1$ ). Tato varianta navíc nabízí možnost elektrizace pouze části trasy do žst. Nučice, a tedy snížení investičních a provozních nákladů na infrastrukturu.



Obr. 6. Schématické znázornění výsledku aplikovaného modelu pro  $H = 2$  – nezávislá motorová trakce, po jeho interpretaci

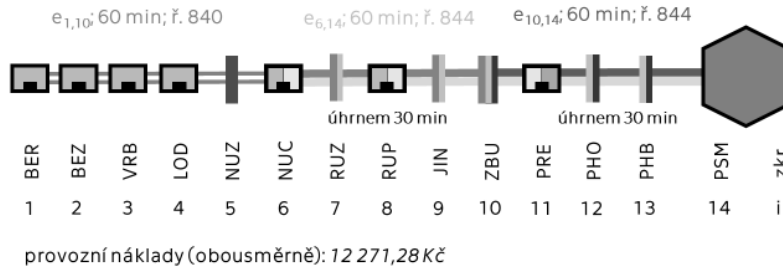


Obr. 7. Schématické znázornění výsledku aplikovaného modelu pro  $H = 2$  – smíšený provoz

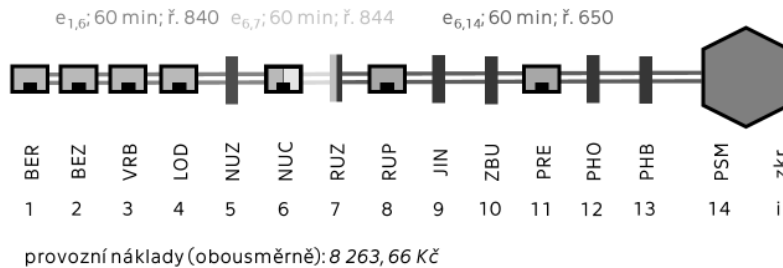
### Výstup z řešícího nástroje pro $H = 3$

Výsledky řešícího nástroje opět směřují k pásmové (úsekové) obsluze. Roztříštěnost navrženého linkového vedení je však z pohledu cestujících poměrně neatraktivní, technologicky nevhodné se rovněž jeví ukončení dvou linek v zast. Zbuzany. Interpretace výsledků bohužel nenabízí žádné provozně výhodnější řešení než v předchozím případě ( $H = 2$ ). Obdobně interpretace výsledků smíšeného provozu již nevede k jiným než výše uvedeným možnostem, resp. odpovídá variantě pro  $H = 2$ .

Obecně z výsledku řešení modelu může vyplynout požadavek na úpravu žel. infrastruktury (vznik dopravní), ale v tomto případě nemá smysl, protože se tím nedosáhne žádných úspor).



Obr. 8. Schématické znázornění výsledku aplikovaného modelu pro  $H = 3$  – nezávislá motorová trakce



Obr. 9. Schématické znázornění výsledku aplikovaného modelu pro  $H = 3$  – smíšený provoz

## 4. Závěr

Článek se zaměřuje na optimalizaci dopravní obsluhy nodálních regionů osobní kolejovou dopravou, zvláště dopravou železniční. Mezi částmi nodálních regionů vznikají přepravní vazby s charakteristickým převažujícím směrem dojížděky a časovým a prostorovým vývojem přepravní poptávky. Vhodně provozovaná síť železničních tratí (resp. síť kolejové dopravy) se svým typicky liniovým charakterem tak je ideální součástí systému VHD. Článek navrhuje optimalizaci dopravní obsluhy liniových železničních sítí sestaveným modelem lineárního programování. Model navrhuje optimální linkové vedení, které zohledňuje základní provozní uspořádání systému (dopravní nabídka) a obsluhované přepravní vazby (přepravní poptávka), přičemž optimalizačním kritériem jsou celkové náklady na provoz vlaků na dané liniové žel. síti.

Celkové výsledky zpracování aplikace navrženého modelu na trať SŽDC č. 173 (Praha-Smíchov – Nučice – Beroun) lze shrnout takto:

- vhodná je **obsluha trati ve dvou pásmech nebo úsecích** s hranicí pásma/úseku **v žst. Nučice**;
- stávající koncepce provozu prakticky odpovídá výsledkům modelu, avšak je potřeba reagovat na zvyšující se celkovou přepravní poptávku (nasazení kapacitnějších vozidel);

- pokračování optimalizace provozu je teoreticky možné **zavedením další hranice pásma/úseku v žst. Praha-Řeporyje** (resp. zast. Zbuzany);
- stávající infrastruktura trati vyhovuje výsledkům modelu, dokonce by nasazením nových vozidel mohlo dojít k lepšímu využití jejich technických parametrů;
- předmětná trať vykazuje potenciál pro **elektrizaci** celého nebo jen části úseku (dílčí etapa), avšak spíše v delším výhledu, pokud bude zachován dynamický vývoj přepravní poptávky či jako součást odklonové trasy pro trať SŽDC č. 171 (Praha-Smíchov – Řevnice – Beroun).

## Literatura

- [1] HAGGETT, P. Geography: a global synthesis. Harlow: Prentice Hall, 2001. ISBN 0-582-32030-5.
- [2] KRAFT, S. Nodální dopravní regiony v Jihočeském kraji: implikace pro regionální dopravní politiku. In: 16th International Colloquium on Regional Science. Conference Proceedings. Brno: Masarykova univerzita, 2013, s. 120–126.
- [3] SVÍTEK, M. a kol. Koncepce řešení regionální dopravy v Plzeňském kraji. Praha: České vysoké učení technické v Praze Fakulta dopravní, Ústav logistiky a managementu, 2017.
- [4] PASTOR, O. a A. TUZAR. Teorie dopravních systémů. Praha: ASPI, 2007, 312 s. ISBN 978-80-7357-285-3.
- [5] ČERNÁ, A. Optimalizace periodické dopravní nabídky. Scientific papers of the University of Pardubice [online]. 1999, 1998(4), s. 193–200 [cit. 2018-08-20]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10195/32041>
- [6] TEICHMANN, D. Optimalizace technologických procesů. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava/Univerzita Pardubice, 2012.
- [7] ADAMOVÁ, I. a kol. Rezortní metodika pro hodnocení ekonomické efektivnosti projektů dopravních staveb. Praha: Státní fond dopravní infrastruktury, 2018. ISBN 978-80-907177-1-8.

## Poděkování

*Tento příspěvek vznikl s podporou projektu Studentské grantové soutěže ČVUT v Praze č. SGS18/150/OHK2/2T/16 Technické parametry železniční dopravní cesty pro optimální provozní koncepci.*

# Analýza pěší dopravy nádražního uzlu Brno-Dolní nádraží

Ing. **Petra Okřinová**<sup>1</sup>, Ing. **Ondřej Uhlík**<sup>2</sup>

*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: uhlik.o@fce.vutbr.cz*

## Abstrakt

Mikroskopické modely pohybu osob jsou primárně aplikovány pro posouzení krizových i běžných situací, jako např. pohyb cestujících ve významných a velmi zatížených dopravních uzlech. Optimální je tyto modely aplikovat již ve fázi projekce. Tento přístup, který znamená mírné zvýšení nákladů v přípravné fázi, ale podstatné snížení nákladů spojených s komplikacemi ve fázi realizace nebo provozu stavby - se postupně stává standardem. Rozvoj těchto metod by měl být chápán, jako významný příspěvek k vytváření technicky správných a zároveň funkčních řešení, jako je využití maximálních kapacit staveb, zajištění plynulosti provozu, a bezpečnosti uživatelů staveb.

## Klíčová slova

Pěší doprava, nádraží, rekonstrukce, model, bezpečnost, optimalizace.

## Pedestrian traffic analysis of the railway station Brno-Dolní nádraží

### Abstract

Microscopic models of human movement are primarily applied to assess crisis and normal situations, such as the movement of passengers in significant and heavily loaded traffic hubs. It is best to apply these models in the design phase. This approach, which means a slight increase in costs in the preparatory phase, but a substantial reduction of the costs connected with complications in the construction or operation phase of the building - is becoming a standard. The development of these methods should be understood as a significant contribution to the creation of technically correct and functional solutions, such as the use of maximum construction capacities, ensuring the flow of traffic and the safety of building users.

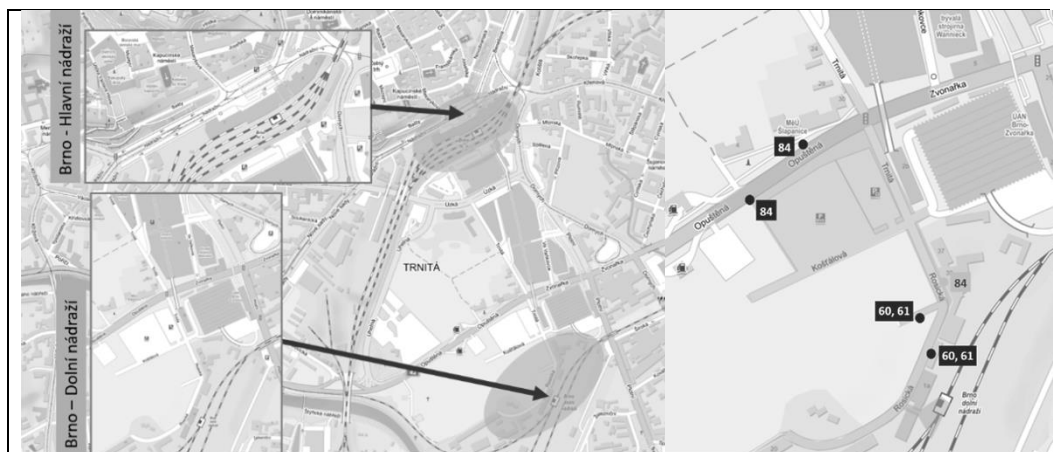
## Keywords

Pedestrian traffic, railway station, reconstruction, model, safety, optimisation.

## 1. Úvod

Brněnské Hlavní nádraží je bezpochyby jedním z nevýznamnějších dopravních uzlů města Brna a zároveň i jednou z klíčových staveb železniční dopravy propojující infrastrukturu České republiky. Obyvatele Brna, přilehlého okolí a spádových regionů využívají tento dopravní uzel dennodenně pro svoji cestu.

V lednu roku 2019 začala plánovaná rekonstrukce tohoto železničního uzlu. Ve spojitosti s rekonstrukcí došlo k redistribuci železniční dopravy do okolních uzlů, konkrétně Brno-Židenice a Brno-Dolní nádraží. Dopravní uzel Brno-Židenice měl již v minulosti vyřešenu návaznost městské hromadné dopravy v bezprostřední blízkosti nádraží, pro uzel Brno-Dolní nádraží tomu tak nebylo, proto bylo nutné vytvořit návrh dopravního řešení a organizačních opatření v přednádražním prostoru této stanice.



Obr. 1 – Lokace a) železničních uzlů – Brno-Hlavní nádraží, Brno-Dolní nádraží; b) řešeného území a návazné dopravy.

V těsné blízkosti stanice Brno-Dolního nádraží bylo nutné návaznost městské dopravy, zázemí pro cestující, prodej jízdenek, stanoviště pro taxi, stojany pro kola, parkovací stání K+R a v neposlední řadě kapacitně vyhovující komunikace pro pěší. Jelikož stávající stav návazné dopravy, byl nevyhovující a cestující byli nuceni docházet na vzdálené zastávky spojů 44, 84, viz Obr 1 b).

## 2. Řešené území a vstupní data pro model

Řešeným územím se stal přednádražní prostor stanice Brno-Dolní nádraží, v rámci kterého bylo třeba nalézt řešení s maximálním důrazem na komfort cestujících při současném zachování stávajícího provozu. Poblíž nádraží na ulici Rosická je umístěn malý firemní areál, přístupný pouze z této ulice. Všechny automobily, které zajišťují provoz a zásobování areálu, jsou nuceny projíždět skrze přednádražní prostor.

Při návrhu vzniklo několik variant uspořádání prostoru s dopravním řešením. Předmětem posouzení byly dvě finální varianty, pro účely tohoto textu je označujeme jako variantu A (původní návrh) a variantu B (nový návrh), podrobněji viz Obr. 2.



Obr. 2 – Brno-Dolní nádraží – Porovnání a) původního návrhu, b) nového finálního dopravního řešení, které bylo optimalizované opakovanými simulacemi [1].

### Geometrie varianty A (původní návrh)

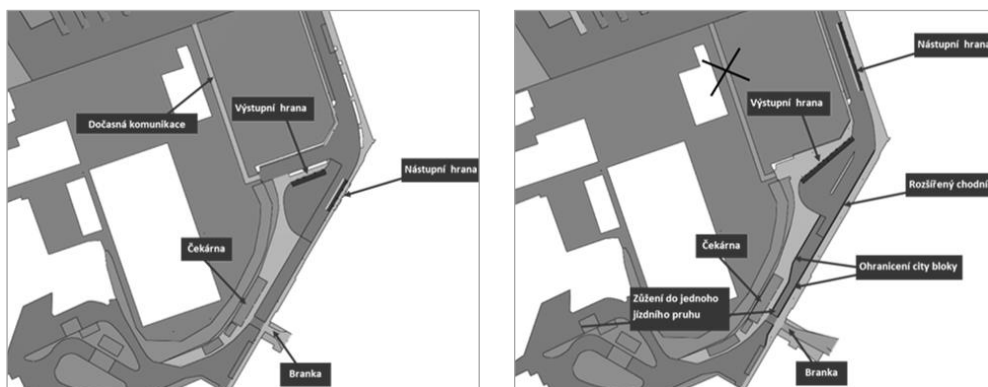
Geometrie zachycuje stávající stav rozšířený o zakreslení úprav v rámci přednádražního prostoru. Změny nejsou příliš výrazné, spíše jen údržbového charakteru. Do návrhu jsou zaneseny stání pro taxi, K+R, invalidy, stojany na kola a zázemí. Dále je navržena nově točna s výstupní hranou, která je umístěna na místě bývalých parkovacích ploch, naproti je navržena nová zastávka s nástupní hranou. Hrana je umístěna na stávajícím chodníku v poměrně úzkém místě. Podrobněji je navrženo uspořádání přednádražního prostoru zachyceno na Obr. 3 a).

### Geometrie varianty B (nový návrh)

Při návrhu této podoby geometrie a dopravního řešení bylo využito numerického modelu pěší dopravy s následnou analýzou výsledků, který pomohl optimalizovat řešení a upořádání nového návrhu, jak z hlediska rozptylových ploch, zajištění maximální komfortu cestujících, sestavení jízdních řádů náhradní kyvadlové dopravy, apod.



Geometrie nového návrhu zachycuje stejně jako původní návrh všechny nutné úpravy v rámci přednádražního prostoru. Odlišně je navržené řešení točny s prodloužením výstupní hrany. Umístění nástupní hrany bylo posunuto vpřed směrem k ulici Trnitá. Chodník vedoucí k této zastávce je rozšířen na maximum (na úkor vozovky). Vozovka je v úseku od točny po úroveň za čekárnou zúžena do jednoho pruhu a její provoz je upraven svislým dopravním značením. Pro zvýšení bezpečnosti jsou komunikace pro pěší, ohraničena betonovými city-bloky.



Obr. 3 – Geometrie řešeného území: a) varianta A – původní návrh; b) varianta B – nový návrh.

### Přepavní vztahy

Model je schopen pokrýt pohyb osob od výstupu z vlaku nebo autobusu po jejich nástup do navazujícího spoje. Vstupem do modelu jsou počty cestujících v hodinových intervalech v kombinaci s jízdními řády.

Model při simulaci aplikuje 3 scénáře provozu nádraží, které vychází z geometrického uspořádání (varianta A a B) a špičkových denních intervalů (ranní 7:19-7:23 hod, odpolední 16:36-16:40 hod). V těchto intervalech krátce po sobě přijíždí na Dolní nádraží tři vlakové soupravy s přibližně 950 cestujícími, kteří vystupují nebo nastupují. Tento proces na nádraží trvá přibližně 4 minuty. Následně cestující proudí do prostoru před nádražím a dále do předem vytipovaných cílových míst (na autobusové spoje dle jízdních řádů, pěšky do NC Vaňkovka nebo na cyklostezku). V rámci modelu byly uvažovány pro obsluhu území autobusy o kapacitě 157 osob.

### Charakteristika osob

V rámci modelu pohybu osob je zohledněna zejména jejich variantní rychlost. Distribuce rychlosti byla stanovena dle Weidmana [2]. Správně aplikované rozložení rychlosti je důležité pro realistickou reprezentaci

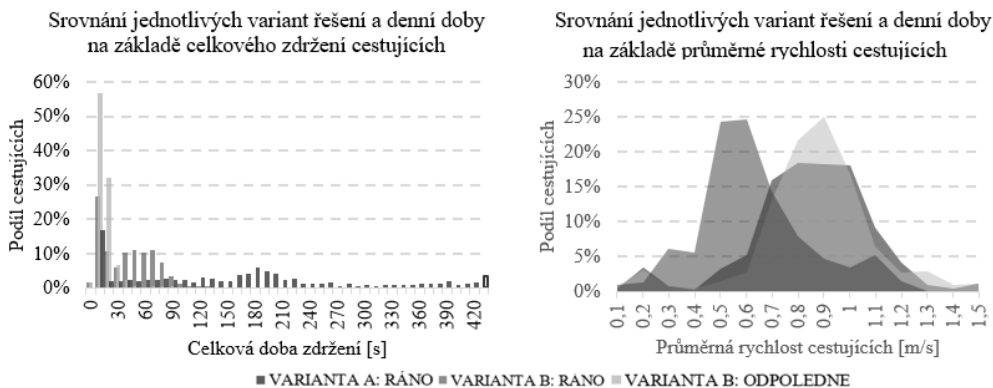
skupinového chování osob a jejich vzájemné interakce uvnitř skupiny. Dokument stanovuje orientační rozdělení rychlosti dle věku, které určuje střední rychlost pohybu pro muže a ženy  $1,41 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , resp.  $1,27 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (uvažován je pouze pohyb po rovině).

## Vybrané analyzované parametry

### Doba zdržení cestujících

Klíčovým ukazatelem efektivity posuzovaných variant je celkové zdržení cestujících při průchodu přednádražním prostorem. Simulace zahrnuje průběh špičkové hodiny v délce 10 minut nejméně frekventovanějšího času, kdy přestupní uzel využije cca 1 400 cestujících. Pro každou simulovanou osobu je stanoveno kumulativní časové zdržení při přestupu a získané hodnoty jsou zobrazeny v podobě histogramu.

Výsledky na Obr 4 a) ukazují srovnání obou variant a denní doby. Je zřejmé, že varianta B je podstatně efektivnější během ranní i odpolední špičky. Osoby v původním návrhu setrvávají podstatně delší dobu v rozsáhlých frontách, přičemž podíl cestujících při rostoucím zdržení příliš neklesá a naopak v čase přibližně 3 minuty dokonce dosahuje nového lokálního maxima. V případě varianty B je návrh efektivní zejména pro odpolední špičku, kdy dokáže takt autobusů 60 a 61 vhodně distribuovat cestující do přednádražního prostoru. Úprava geometrie přednádražního prostoru nicméně výrazně zefektivnila provoz také během ranní špičky, kdy maximální zdržení prakticky nepřesahuje 1,5 minuty.

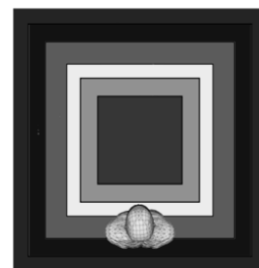


Obr. 4 – a) Maximální zdržení cestujících v prostoru nádraží při srovnání jednotlivých variant řešení a špičkové hodiny; b) Průměrná rychlost pohybu cestujících v prostoru nádraží.

## Úroveň kvality pěší dopravy

Pojem úroveň kvality má svůj původ v dopravním inženýrství, kde je používán také pod originálním názvem Level of Service (LoS). Jde o kvalitativní vyjádření situace na dopravní síti pomocí zjednodušené stupnice A-F. Úroveň kvality dopravy A znamená volnou dopravu, kdy se jednotlivé osoby vzájemně neovlivňují a pohybují se rychlostí blízkou maximální hodnotě, úroveň F pak znamená opačnou situaci, kdy se účastníci pěší dopravy vlivem vysoké hustoty pohybují velmi pomalu či jsou nuceni se zcela zastavit.

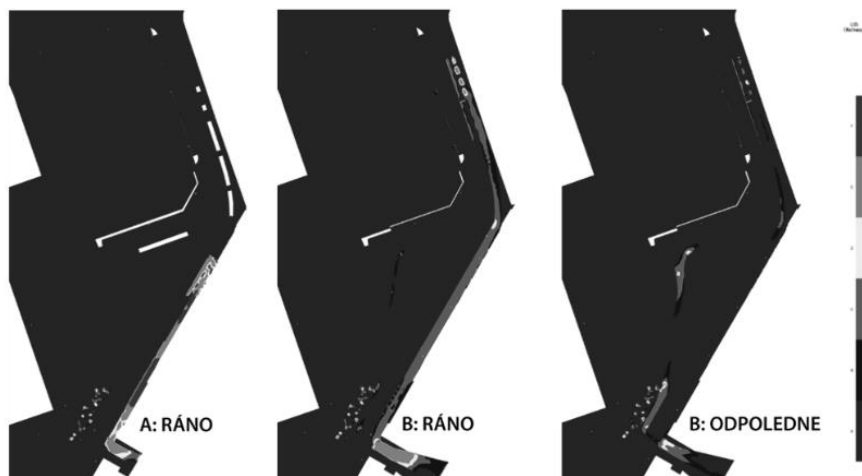
Úroveň	Chodníky		Schody a rampy		Čekací plochy	
	Min [os.m <sup>-2</sup> ]	Max [os.m <sup>-2</sup> ]	Min [os.m <sup>-2</sup> ]	Max [os.m <sup>-2</sup> ]	Min [os.m <sup>-2</sup> ]	Max [os.m <sup>-2</sup> ]
A	0	0,308	0	0,538	0	0,828
B	0,308	0,431	0,538	0,718	0,828	1,076
C	0,431	0,718	0,718	1,076	1,076	1,538
D	0,718	1,076	1,076	1,538	1,538	3,588
E	1,076	2,153	1,538	2,691	3,588	5,382
F	2,153	-	2,691	-	5,382	-



Obr. 4 – a) Rozdělení úrovní kvality pěší dopravy podle typu komunikace a hustoty osob [4]; b) Grafické vyjádření prostorové náročnosti jednotlivých úrovní kvality pěší dopravy vzhledem k půdorysu stojící osoby[4].

Inženýrská praxe široce akceptuje metodu popsanou Fruinem [4], která rozlišuje jednotlivé úrovně pro chodníky, schodiště a čekací plochy vlivem různých dynamických vlastností pěšího proudu. Konkrétní číselné vyjádření minimálních a maximálních hodnot pro úrovně kvality pěší dopravy jsou na Obr. 4 a). Z tabulky vyplývá, že hodnoty se mezi chodníky a čekacími plochami velmi liší. Zatímco v případě chodníku je nejvyšší stupeň F dosažen pro hustotu přibližně 2,2 osob.m<sup>-2</sup>, v případě čekací plochy je tato hodnota přibližně 5,4 osob.m<sup>-2</sup>, tedy dvojnásobná.

Průměrná úroveň kvality pěší dopravy je zachycena pro obě varianty a denní doby, blíže na Obr. 5. Průměr je stanoven za dobu celé simulace, tedy 10 minut, zobrazená škála LoS odpovídá hodnotám pro chodníky. Varianta A vykazuje kritické koncentrace lidí u východu z nádraží na koridoru, který nemá dostatečnou kapacitu. Průměrná hodnota LoS zde dosahuje vyloženě nebezpečné úrovně F. Naproti tomu varianta B, a zejména v případě odpolední špičky, dosahuje v řešeném prostoru úrovně nejhůře D, a i v tomto případě pouze lokálně.



Obr. 5 – Úroveň kvality pěší dopravy v prostoru nádraží. Je použita škála A (fialová, nejlepší) až F (červená, nejhorší).

### Závěr analýzy

Původní varianta A představuje z hlediska kapacity velmi problematické uspořádání návrhu. Úzká uliční šíře a nedostatečná kapacita autobusových zastávek v kombinaci s nedostatečnou rozptylovou plochou před prostorem nádraží znamená velmi výrazné prodlevy pro cestující a vznik rozsáhlých front, doprovázených kritickou úrovní kvality pěší dopravy a lokální hustoty osob.

Naproti tomu výsledky studie jednoznačně potvrzují efektivitu nově navržené varianty B. Model pohybu cestujících v přednádražním prostoru prokázal, že nové uspořádání je schopné v průběhu několika minut odbavit přibližně 1 500 osob bez výrazného zdržení cestujících. Současně v tomto případě zůstává úroveň kvality pěší dopravy převážně na přijatelném stupni C, pouze výjimečně dosahuje stupně D. Hustota osob po většinu času nepřevyšuje hodnotu 3 osoby.m<sup>-2</sup>.

## 4. Závěr

Využití mikroskopických modelů pohybu osob v pěší dopravě je velmi efektivní zejména v projekční fázi. Aplikace modelů pomáhá nalézt odpovědi na otázky ohledně komfortu, bezpečnosti pěších, možnostech uspořádání dopravních staveb, tvorby výlukových jízdních řádů a v neposlední řadě dokáže posoudit vhodnost navrhovaných řešení.

Právě pomocí numerických modelů je možné již při počátečních fázích projektu analyzovat vznikající geometrii a identifikovat místa, která jsou nedostatečně kapacitní nebo dokonce riziková

## **Literatura**

- [1] BRNĚNSKÉ KOMUNIKACE. Studie řešení dopravní obsluhy "předprostor nádraží BRNO-DOLNÍ". Brno, 2018.
- [2] Weidmann, U.: Transporttechnik der Fußgänger. Technische zpráva, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, 1993.
- [3] Still, G. K.: Crowd Dynamics. Dizertační práce, University of Warwick, Department of Mathematics, 2000.
- [4] Fruin, J. J.: Pedestrian Planning and Design. Elevator World, Inc., 1971.
- [5] Still, G. K.: Crowd Dynamics. Dizertační práce, University of Warwick, Department of Mathematics, 2000

## **Poděkování**

*Příspěvek vznikl za podpory interního projektu Vysokého učení technického v Brně s reg. číslem FAST-J-19-6094.*

# Historie úprav zemin zemní pláňe vápnem a cementem z pohledu předpisu S4

Ing. Michal Petýrek<sup>1</sup>

Fakulta stavební ČVUT v Praze

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

e-mail\_1: michal.petyrek@fsv.cvut.cz

## Abstrakt

Tento příspěvek se zabývá historií požadavků na úpravu zemin zemní pláňe pomocí vápna a cementu. Současně je v článku stručně popsána historie zavádění této technologie, včetně zpráv ze zkušebních úseků. V další části jsou mezi sebou porovnány postupně všechny verze předpisu S4, který zastřešuje problematiku železničního spodku v České republice na síti SŽDC.

## Klíčová slova

Zlepšené zeminy, železniční spodek, předpis S4

## History of subgrade treatment with lime and cement from the perspective of S4 regulation

### Abstract

This paper deals with the history of requirements for soil plains treatment with lime and cement. At the same time, the article briefly describes the history of implementation of this technology, including reports from the test sections. In the next part, all versions of the S4 regulation, which covers the issue of the railway substructure in the Czech Republic on the SŽDC network, are gradually compared.

### Keywords

Improved soils, railway substructure, S4 regulation

## 1. Úvod

Zemní plán musí zajistit přenos statického i dynamického zatížení od železniční dopravy bez toho, aby se na ní projevil trvalé deformace [7]. Cílem úpravy zemin je zlepšení jejich mechanických parametrů tím dosažení vyšší únosnosti zemní pláně po co nejdelší dobu. Zeminy je možné upravovat mechanicky - přidáním vhodné frakce kameniva a tím dosažení lepší křivky zrnitosti nebo přidáním pojiva. V našich podmínkách se nejčastěji používá vápno nebo cement, či jejich směs. Tento článek se dále zabývá vývojem úpravy zemin vápnem a cementem.

Při úpravě zemin cementem dochází k částečnému obalení zrn zeminy cementovou maltou. Jejím ztvrdnutím vzniká v zemině pevný skelet. Na rozdíl od betonu se neuvažuje s dokonalým obalením všech zrn. Při použití vápna nedochází pouze ke slepení jednotlivých zrn, jako při použití cementu, ale i ke změně vnitřní struktury zeminy. Dochází současně ke shlukování původně koloidních částic (velikost koloidních částic se pohybuje od 1 nm až po 1000 nm), takže se v zemině tvoří větší pevná zrna. [3]

Z hlediska současné terminologie rozdělujeme upravené zeminy na zeminy zlepšené a stabilizované. Toto rozdělení vstoupilo v platnost až s poslední novelizací předpisu SŽDC S4 Železniční spodek v roce 2008. Dříve se upravené zeminy označovaly jako stabilizace. Tento článek toto respektuje a v popisu historie je ponecháno označení stabilizace, byť charakterem odpovídají tomu, co v současné době označujeme jako zlepšené zeminy. Pro zajímavost, v silničním stavitelství se stabilizace a zlepšené zeminy nerozdělují a vše se označuje jako stabilizace.

## 2. Historie

V šedesátých a sedmdesátých letech minulého století začaly tehdejší ČSD (Československé státní dráhy) v souvislosti s rostoucím provozním zatížením řešit sanace málo únosného pražcového podloží. I když bylo opravám tratí věnováno značné úsilí údržbě tratí, po krátké době opět došlo k rozpadu geometrické polohy koleje [2]. V rámci hledání optimálních řešení této situace byly zkoušeny a případně do předpisové základny zaváděny různé metody sanace zemní pláně. Některé se v současné době už nepoužívají (například sanace pomocí betonových desek), některé se stále používají, a to je i případ sanace zemní pláně pomocí hydraulických pojiv.

Zřejmě první publikací věnující se sanacím zemní pláně je publikace V knížce Sanace železniční pláně z roku 1962. V části nové metody sanací železniční pláně kapitola věnovaná stabilizaci zemin zemní pláně cementem a vápnem. Obsahuje popis metody a způsob provádění. [4]

V letech 1968-69 byl Projektčně konstrukčně-vývojovým pracovištěm traťového hospodářství řešen vývojový úkol Nové metody při stavbě a údržbě žel. spodku, v jehož rámci bylo pro sledovaný zkušební úsek zpracováno několik možností způsobu sanace pražcového podloží, včetně sanace pomocí cementové stabilizace [1]. Dle závěrečné zprávy z roku 1970 nakonec k praktickému ověření nedošlo, zkoušeny byly jiné metody. Zajímavé je zhodnocení zahraničních zkušeností. Běžně se sanace pomocí cementové stabilizace tou dobou používala např. v Maďarsku a ve Francii [2].

Ve stejném roce byla publikována studie k používání stabilizací při sanacích pláně tělesa železničního spodku. V této studii je velmi podrobně popsán mechanismus vlastního zlepšování zemin jak pro vápenné, tak i pro cementové pojivo, dále metoda zřizování a používaná mechanizace[3].

### **3. Předpis S4 - Železniční spodek**

Předpis S4 - Železniční spodek je základní předpis týkající se problematiky železničního spodku pro bývalé ČSD, později ČD a nyní SŽDC.

#### **3.1. Historie předpisu S4**

Ve vydání platném od 1. 1. 1979 je v příloze č. 11 uvedena metoda stabilizace zeminy jako jedna z metod pro zvýšení únosnosti zemní pláně. Stabilizace zeminy je uvažována jak cementem, tak i vápnem. Mísení pojiva a zeminy bylo dovoleno buď v centrální míchačce, tj. podle dnešní terminologie se jedná o materiál z dovozu, nebo na místě zemní frézou po nadávkování pojiva na zemní pláň. Z pohledu technologie provádění prací zde nejsou žádné výraznější odchylky od současného stavu. Pražcové podloží se stabilizací je označeno jako typ 3. Už tehdy se pro návrh pražcového podloží používal výpočet pomocí modulu přetvoření. Vrstva cementové stabilizace má udávaný materiálový modul přetvárnosti 120 MPa. Minimální tloušťka vrstvy stabilizace byla 0,15 nebo 0,10 m podle zatížení koleje. Ochrana před promrzáním stabilizace tehdy ještě nebyla řešena. [5]

V následné verzi platné od 1. 7. 1998 bylo používání stabilizací zpracováno podrobněji. Stále platí, že stabilizace může být prováděna na místě nebo z materiálu dovezeného z míchacího centra. Dovoz materiálu stabilizace z míchacího centra je doporučován, pokud není materiál zemní pláně vhodný pro stabilizaci. Stabilizovat bylo možné všechny druhy zeminy, pokud neobsahují kamenivo frakce větší než 63 mm. Oproti dřívější verzi předpisu jsou zde již zaneseny požadavky na zpracovatelnost zemin. Dřívější verze požadovala laboratorní posouzení



vhodnosti zemin, ale již neuváděla požadavky, které musí být splněny. V předpise je dále uvedena tabulka vhodnosti jednotlivých druhů zemin pro různá pojiva. Orientační modul přetvárnosti dosažený na vrstvě stabilizace je rozdílný pro různé metody realizace. Pro materiál z míchacího centra je udáváno 60 MPa, při použití těžké frézy na místě je udáváno 35 MPa a při použití lehké frézy 45 MPa. U vrstvy stabilizace se průkaznými zkouškami před započítáním realizace prokazovalo složení směsi stabilizace, pevnost v tlaku, odolnost proti mrazu a vodě, poměr únosnosti CBR, obsah organických látek, pH, množství síry a jejích sloučenin (kvůli bobtnání) a parametry zhutnění dle Prostor Standard. V průběhu výstavby byly předepsány kontrolní zkoušky na každých 1000 m<sup>3</sup> při výrobě směsi v míchacím centru a na každých 500 m<sup>3</sup> při míchání na místě. Pražcové podloží se stabilizací bylo označeno jako typ 6. Materiálový modul pro stabilizovanou zeminu již nebyl uveden. Minimální tloušťka vrstvy po zhutnění byla 0,15 m. Promrzání vrstvy stabilizace bylo dovoleno do 1/3 celkové tloušťky vrstvy, pokud byla pevnost stabilizované vrstvy v prostém tlaku větší než 2,5MPa. [6]

### 3.2. Současný stav

V současné době platí předpis SŽDC S4 z roku 2008 s účinností od 1.10.2008. V této verzi už jsou upravené zeminy rozdělené na zeminy zlepšené a stabilizované. Stabilizace je definována jako způsob úpravy zemin, směsi zemin nebo jiného zrnitého materiálu s použitím pojiva, kterou stabilizované materiály získají požadovanou pevnost) a odolnost. Zlepšení zemin je úprava zeminy promísením s jinou zeminou nebo pojivem s cílem umožnit a usnadnit zpracování málo vhodných zemin do podloží zemního tělesa, zemního tělesa a aktivní zóny.

Obě varianty jsou popsány v Příloze č. 13. Hlavní rozdíl mezi oběma kategoriemi je v požadavcích na výslednou směs. Technologie výroby je shodná, s tím, že u zlepšených zemin se přednostně předpokládá realizace na místě a u stabilizací se předpokládá výroba v míchacím centru (betonárce), na výjimku je možné je realizovat in-situ. [7]

#### 3.2.1. Zlepšené zeminy

Zlepšené zeminy se navrhují a posuzují na základě zkoušky poměru únosnosti CBR, přičemž minimální hodnota je 10 %. Dále se posuzuje míra zhutnění a dosažení požadovaného modulu přetvárnosti. Minimální modul přetvárnosti na vrstvě zlepšené zeminy je 40 MPa. Jeho dosažení se prokazuje statickou zatěžovací zkouškou. Dále se posuzuje namrzavost podle CBR. Zlepšená zemina s poměrem únosnosti vyšším než 10 % CBR se považuje za mírně namrzavou, při dosažení poměru CBR většího než 47 % je zemina považována za nenamrzavou. Pokud je zemina nenamrzavá, je dovoleno její promrznutí do 1/3 tloušťky vrstvy.

Tloušťka vrstvy zlepšené zeminy musí být minimálně 0,30 m po zhutnění. [7]

### 3.2.2. Stabilizace

Výslednou únosnost stabilizace je nutno prokázat statickou zatěžovací zkouškou, přičemž minimální modul přetvárnosti dosažený na vrstvě stabilizace je 60 MPa. Návrh stabilizace spočívá ve stanovení složení směsi, prokázání požadované pevnosti, prokázání odolnosti proti mrazu, stanovení tloušťky a stanovení míry zhutnění směsi. Minimální pevnost v prostém tlaku vzorků z vrstvy stabilizace je 2,5 MPa. Odolnost proti mrazu a vodě musí být minimálně 3,5 MPa. Tloušťka stabilizované vrstvy musí být minimálně 0,25 m po zhutnění. Pro rozprostírání směsi je nevhodnější finišer. [7].

## 4. Praktické zkušenosti

V současné době se navrhuje v převážné většině zlepšené zeminy. Zlepšení zemin má dlouhodobější účinek než jen zlepšení zpracovatelnosti po dobu výstavby. Pokud by se materiál připravoval v míchacích centrech a na stavbu dovážel, neúměrně by to zvyšovalo náklady na výstavbu. Z míchacích center se nejčastěji dováží štěrkodrt stabilizovaná cementem pro úseky zesílené konstrukce pražcového podloží v okolí mostů nebo v oblasti přejezdů. Současně se ukazuje, že při výrobě stabilizované zeminy in-situ na staveništi je velmi obtížné splnit požadavky kladené předpisem S4 na stabilizované zeminy. Velmi často tedy v projektové přípravě investor tlačí na nepoužívání stabilizací zřízovaných na místě. Současně se v některých případech ukazuje jako problematické dosažení požadovaného poměru únosnosti CBR tak, aby zlepšená zemina mohla být považovaná za nenamrzavou a bylo tím dovoleno její částečné promrznutí. Tudíž z tohoto důvodu bývá požadována ochrana před promrznutím zlepšené zeminy v její plné tloušťce.

## 5. Výhled do budoucna

V souvislosti s výstavbou vysokorychlostních tratí lze předpokládat další zvýšení požadavků na únosnost zemní pláně tělesa železničního spodku. Zvýšení požadavků na únosnost zemní pláně povede k tomu, že některé zeminy, které v současné době z pohledu únosnosti vyhovují, nově vyhovovat nebudou. Lze se tedy domnívat, že využívání úpravy zemin v podobě stabilizací a zlepšených zemin bude dále stoupat.

## 6. Závěr

Cílem článku je nastínit stručnou historii využívání stabilizací a zlepšených zemin na území České republiky v železničním stavitelství. Je logické, že v návaznosti na získané zkušenosti docházelo ke stále přesnějšímu stanovení požadovaných parametrů zlepšených zemin a stabilizací, které se promítaly do novelizací předpisu S4 – Železniční spodek.

## Literatura

- [1] Závěrečná zpráva: Sanace pláně železničního spodku na pokusném úseku Dalovice - Hájek. ČSD - Projekčně konstrukčně-vývojové pracoviště traťového hospodářství v Pradubicích.1969.
- [2] Závěrečná zpráva vývojového úkolu č. R-O-Ž/13-8 "Snace železničního spodku - nové metody". ČSD - Projekčně konstrukčně-vývojové pracoviště traťového hospodářství v Pradubicích.1970
- [3] VITOUŠOVÁ, L. Sanace pláně železničního spodku - stabilizace: Informační studie. Brno, 1970.
- [4] KRAUS, Josef a Petr TYC. Sanace železniční pláně. I. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1962.
- [5] ČSD S4 Železniční spodek. Praha: nakladatelství dopravy a spojů, 1979.
- [6] ČD S4 Železniční spodek. Praha: České dráhy, 1998.
- [7] SŽDC S4 Železniční spodek. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2008.

## Poděkování

*Príspevek byl zpracován za podpory programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR) v rámci projektu Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI), číslo projektu TE01020168.*

# Verifikácia tepelno-technických charakteristík materiálov aplikovaných do konštrukcie podvalového podložia

Ing. Juraj Pieš<sup>1</sup>, prof. Ing. Libor Ižvolt, PhD.<sup>2</sup>, Ing. Martin Mečár, PhD.<sup>3</sup>

Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra železničného staviteľstva a traťového hospodárstva

Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

e-mail\_1: juraj.pies@fstav.uniza.sk

e-mail\_2: libor.izvolt@fstav.uniza.sk

e-mail\_3: martin.mecar@fstav.uniza.sk

## Abstrakt

Na Katedre železničného staviteľstva a traťového hospodárstva (KŽSTH), Stavebnej fakulty (SvF), Žilinskej univerzity v Žiline (UNIZA) je realizovaný dlhodobý výskum zaoberajúci sa problematikou vplyvu nedopravného zaťaženia na konštrukciu podvalového podložia železničnej trate. Verifikácie tepelno-technických charakteristík stavebných materiálov aplikovaných do konštrukcie podvalového podložia predstavujú len čiastkovú úlohu z predmetného rozsiahleho výskumu. V tomto článku sú prezentované čiastkové výsledky laboratórneho stanovenia tepelno-technických charakteristík vybraného stavebného materiálu, ktorý sa v súčasnosti veľmi často nachádza v konštrukcii podvalového podložia železničnej trate. Konkrétne sa jedná o verifikáciu hodnoty koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$  pre íl strednej plasticity (F6=Cl) v kombinácii s vápnom, t.j. vápennej stabilizácie jemnozrnnej zeminy. Pre jeho stanovenie je nutné laboratórne určiť čiastkové parametre, ktorými sú merná tepelná kapacita materiálu  $c$  a časový interval materiálu  $t$ . V článku sú charakterizované jednotlivé laboratórne zariadenia pre stanovenie týchto čiastkových parametrov, uvedené postupy a vyhodnotenia jednotlivých laboratórnych meraní. V záverečnej časti textu je vykonané porovnanie hodnôt koeficientov tepelnej vodivosti  $\lambda$  stanovených experimentálnymi laboratórnymi skúškami s hodnotami uvedenými v TNŽ 73 6312 a STN EN ISO 10 456.

## Kľúčová slová

Železničná trať, železničný spodok, nedopravné zaťaženie, stabilizovaná zemina, koeficient tepelnej vodivosti, merná tepelná kapacita.

## **Verification of the thermo-technical characteristics of materials applied into the track bed structure**

### **Abstract**

Long-term research dealing with the issue of the impact of non-traffic load affecting on the track bed structure of railway line is carried out at the Department of Railway Engineering and Track Management (DRETM), the Faculty of Civil Engineering (FCE), the University of Žilina (UNIZA). Verifications of the thermo-technical characteristics of building materials applied in the track bed structure represented only partial task of this extensive research. In this contribution are present partial results of laboratory determination of the thermo-technical characteristics of selected building material, which is currently very often applied in the track bed structure of the railway line. Specifically, it is a verification of the thermal conductivity coefficient value  $\lambda$  of clay with middle plasticity (F6 = Cl) in combination with lime, i.e. lime stabilization of fine-grained soil. For this verification, it is necessary laboratory determination of partial parameters than, the specific heat capacity  $c$  and the time interval  $t$  of material. In the contribution are characterized individual laboratory equipment for the determination of these partial parameters, procedures, and evaluations of individual laboratory measurements. The final part of the text compares the thermal conductivity coefficient values  $\lambda$  determined by experimental laboratory tests with the values referred to TNŽ 73 6312 and STN EN ISO 10 456.

### **Keywords**

Railway line, subgrade, non-traffic load, stabilized soil, thermal conductivity coefficient, specific heat capacity.

## 1. Úvod

Dimenzovanie konštrukcie železničnej trate je založené na posúdení konštrukcie podvalového podložia voči dopravnému (statickému a dynamickému) a nedopravnému (klimatickému) zaťaženiu. Z hľadiska účinkov nedopravného zaťaženia, ktoré reprezentujú klimatické faktory (mráz, voda, vietor a slnečné žiarenie), je nutné v rámci návrhu ochrany voči nežiadúcim účinkom mrazu poznať aj tepelno-technické charakteristiky stavebných materiálov, ktoré sú aplikované do konštrukcie podvalového podložia. Najdôležitejšiu tepelno-technickú charakteristiku predstavuje koeficient tepelnej vodivosti  $\lambda$  stavebného materiálu, ktorého hodnota figuruje v dimenzačnom vzťahu pre stanovenie konštrukčnej hrúbky ochrannej vrstvy.

Problémom je, že súčasnosti platná metodika pre dimenzovanie konštrukčných vrstiev podvalového podložia uvedená v [1] neobsahuje tepelno-technické charakteristiky všetkých stavebných materiálov, ktoré sa v súčasnosti aplikujú do konštrukcie podvalového podložia a zároveň nie je ani známe, akým spôsobom a za akých okrajových podmienok boli stanovené hodnoty koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$  pre jednotlivé stavebné materiály, ktoré sú v tomto legislatívnom dokumente uvedené. Na základe týchto skutočností a dôvodov sa na KŽSTH vykonáva dlhoročná verifikácia hodnôt koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$  jednotlivých stavebných materiálov aplikovaných do konštrukcie podvalového podložia. Predmetom článku je nadviazať na doteraz dosiahnuté výsledky výskumu a pokračovať vo verifikácii hodnôt koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$  na skúšobných vzorkách stabilizovanej zeminy, ktoré boli vytvorené z ílu strednej plasticity (F6=CI) stabilizovaného haseným vápnom.

## 2. Verifikácia hodnôt koeficientu tepelnej vodivosti $\lambda$ stavebných materiálov aplikovaných do konštrukcie podvalového podložia

Dimenzovanie konštrukcie podvalového podložia železničných tratí sa v súčasnosti na území Slovenskej republiky (SR) vykonáva podľa TNŽ 73 6312 [1]. Predmetný legislatívny dokument je záväzný a platný pre navrhovanie a posudzovanie infraštruktúry ŽSR. Princíp dimenzovania konštrukcie podvalového podložia voči účinkom mrazu spočíva vo vytvorení viacvrstvého systému, ktorý v závislosti od rýchlostného pásma a typu vodného režimu zabráni úplne alebo čiastočne prieniku záporných teplôt do namrzavého materiálu zemnej pláne. Hlavnú tepelnoizolačnú funkciu v konštrukcii podvalového

podložía plní ochranná vrstva z materiálu, ktorý má vhodné tepelnoizolačné vlastnosti, to znamená, čo najnižší súčiniteľ tepelnej vodivosti, ale z pohľadu nutného posúdenia konštrukcie podvalového podložía aj na dopravné zaťaženie, aj dostatočnú deformačnú odolnosť. V [1] je uvedený vzťah pre stanovenie hrúbky ochrannej vrstvy, do ktorého vstupuje aj hodnota koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$ . Jednotlivé hodnoty koeficientov tepelnej vodivosti  $\lambda$  rôznych stavebných materiálov uvedené v [1] sú v *tab. 1*.

Na KŽSTH, SvF, UNIZA sa vykonáva dlhodobý výskum, ktorý sa zaoberá, vzhľadom na metodiku dimenzovania konštrukcie podvalového podložía na nedopravné zaťaženie uvedenej v [1] a dátum jej vzniku, skúmaním jej relevantnosti a spoľahlivosti. Podnetom pre verifikáciu predmetnej metodiky dimenzovania uvedenej v [1] je aj skutočnosť, že v súčasnosti sa do konštrukcie podvalového podložía zabudovávajú nové konštrukčné prvky a materiály, ktoré nie sú jej súčasťou, a taktiež sú dlhodobo proklamované zmeny v klimatických pomeroch aj na území SR. Časť predmetného výskumu sa súčasne zaoberá aj numerickým modelovaním nedopravného zaťaženia pôsobiaceho na rôzne konštrukcie podvalového podložía. Numerické modelovanie je vykonávané v kanadskom softvéri *SoilVision*, ktorý vyžaduje množstvo vstupných parametrov pre získanie korektných, a teda aj pre prax aplikovateľných výstupov. Jedným z primárnych vstupov pre stanovenie kolísania tepelného režimu konštrukcie podvalového podložía v priebehu roka, ale predovšetkým v zimnom období, je predmetný koeficient tepelnej vodivosti  $\lambda$ , ako aj merná tepelná kapacita materiálu.

Na základe vyššie uvedených skutočností bolo rozhodnuté verifikovať hodnoty koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$  stavebných materiálov, ktoré sa v súčasnosti aplikujú do konštrukcie podvalového podložía sanovaných, rekonštruovaných, či modernizovaných železničných tratí.

Tab. 1 – Návrhové hodnoty koeficientov tepelnej vodivosti  $\lambda$  materiálov [1].

Materiál	Súčiniteľ tepelnej vodivosti $\lambda$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )
koľajový štrk	2,00
štrkopiesok	2,30
štrkodrvina, preosievky, výzisk	2,00
vysokopecná troska	0,95
stabilizovaná zemina	1,75
asfaltom obalované kamenivo	1,15
cementový betón	2,55
piesčitá hlina	2,20
hlina	1,95
ílovitá zemina	1,70
mechanicky spevnené kamenivo	1,80
kamenivo spevnené hydraulickým spojivom	2,20
styroporbetón	0,25
polystyrén	0,15

V laboratóriu KŽSTH sa od roku 2008 vykonávajú experimentálne merania pre overenie koeficientov tepelnej vodivosti  $\lambda$  stavebných materiálov, uvedených v *tab. 1*. V priebehu týchto rokov boli verifikované nasledujúce stavebné materiály: čistý a znečistený koľajový štrk fr. 31,5/63 mm, štrkopiesok fr. 0/31,5 mm, štrkodrvina fr. 0/31,5 mm, štrkodrvina fr. 0/63 mm, piesok, piesčitá hlina a ílovitá zemina. Opis experimentálneho stanovenia koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$  predmetných stavebných materiálov je podrobne uvedený v [2].

### 2.1. Determinovanie koeficientu tepelnej vodivosti $\lambda$ materiálu metódou nestacionárneho tepelného toku

Na Slovensku v súčasnosti neexistuje žiadny platný legislatívny dokument určujúci postup laboratórneho stanovenia koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$ . Poslednou platnou normou v danej problematike bola STN 72 1105, ktorej dátum zrušenia je evidovaný k 1. 12. 2006 [3]. Laboratórne merania boli teda vykonávané na základe ČSN 72 1105 [4], ktorá v súčasnosti stále platí, avšak predmetná norma uvažuje s maximálnym rozmerom zrna skúšobnej vzorky len 16 mm. Na základe danej skutočnosti bolo nutné upraviť postup laboratórnych meraní takým spôsobom, aby bolo možné stanoviť koeficient tepelnej vodivosti  $\lambda$  aj pre hrubozrnné stavebné materiály, ako je napr. koľajový štrk fr. 31,5/63 mm alebo štrkodrvina fr. 0/31,5 mm.



Princíp experimentálnych meraní je založený na nepriamom stanovení hodnoty koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$ , a to prostredníctvom metódy nestacionárneho tepelného toku, pre ktorú je charakteristické jednosmerné šírenie tepla vedením (kondukciou) v homogénnych prostrediach. Predmetné šírenie tepla charakterizuje Fourierová diferenciálna rovnica, z ktorej je numericky odvodený finálny vzťah (1) pre stanovenie koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$  materiálu. Numerické odvodenie Fourierovej diferenciálnej rovnice je podrobne uvedené v [5].

$$\lambda = 0,249 \cdot \frac{h^2}{t} \cdot \rho \cdot c \quad (1)$$

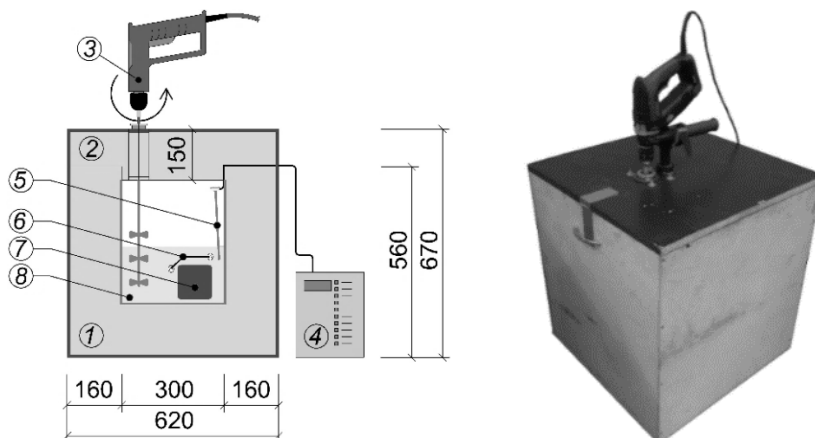
kde je:  $\lambda$  – koeficient tepelnej vodivosti, ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ),  
 $h$  – hrúbka (mocnosť) skúšobnej vzorky, (m),  
 $t$  – časový interval, (s),  
 $\rho$  – objemová hmotnosť, ( $kg \cdot m^{-3}$ ),  
 $c$  – merná tepelná kapacita vzorky so známou vlhkosťou, ( $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ).

Vzťah (1) obsahuje štyri fyzikálne veličiny, ktorých náročnosť determinovania je rôzna. Určenie hrúbky (mocnosti)  $h$  a objemovej hmotnosti  $\rho$  skúšobnej vzorky je pomerne jednoduché, na rozdiel od určenia mernej tepelnej kapacity  $c$  a časového intervalu  $t$ , pre ktoré boli na KŽSTH skonštruované špeciálne zariadenia navrhnuté s tým cieľom, aby umožnili laboratórne stanoviť hodnotu koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$  aj hrubozrnných stavebných materiálov.

### 2.1.1. Charakteristika kalorimetrickej skúšky

Laboratórne determinovanie hodnoty mernej tepelnej kapacity  $c$  vybraného stavebného materiálu predstavuje dôležitú čiastkovú úlohu, potrebnú pre finálne stanovenie hodnoty koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$ . Merná tepelná kapacita  $c$  predstavuje tepelno-technickú charakteristiku, ktorú je možné stanoviť kalorimetrickou skúškou. Experimentálne merania sú vykonávané v špeciálne vytvorenom laboratórnom zariadení, označovanom ako *kalorimeter*. Predmetné zariadenie je uvedené na obr. 1.

Princíp kalorimetrickej skúšky spočíva vo vložení pripravenej skúšobnej vzorky do horúceho vodného prostredia ( $50 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Následne sa monitoruje priebeh spotreby tepla skúšobnou vzorkou, pričom sa sleduje postupný úbytok teploty vodného prostredia v kalorimetri. Skúška sa považuje za ukončenú v okamžiku, ak nastane ustálený pokles teploty vodného prostredia. Podrobný opis postupu kalorimetrickej skúšky je uvedený v [2], [4] a [5].

**Legenda:**

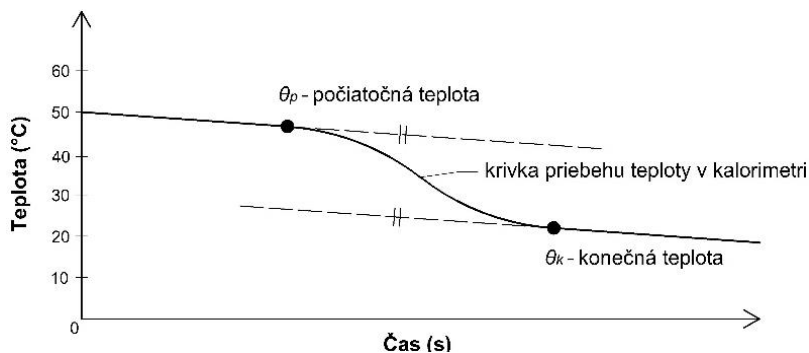
- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| 1 – nádoba izolovaná polystyrénom    | 5 – sonda pre meranie teploty Pt1000                               |
| 2 – poklop izolovaný polystyrénom    | 6 – plastové držiaky s nylónovým lankom                            |
| 3 – miešadlo poháňané elektromotorom | 7 – skúšobná vzorka  |
| 4 – radiaca a záznamová ústredňa MS4 | 8 – vodné prostredie s $\theta \approx 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ |

Obr. 1 – Konštrukčné usporiadanie kalorimetra [6].

Pomocou záznamovej ústredne MS4 je možné vytvoriť grafický priebeh teploty vodného prostredia, z ktorého sa následne určia čiastkové parametre ( $\theta_p$  a  $\theta_k$ ) pre výpočet mernej tepelnej kapacity  $c$ . Na obr. 2 je znázornené vyhodnotenie kalorimetrickej skúšky, ktoré je založené na stanovení počiatkovej a konečnej teploty  $\theta_p$  a  $\theta_k$ .

Numerické stanovenie mernej tepelnej kapacity  $c$  materiálu so známou vlhkosťou sa vykonáva podľa vzťahu (2), v ktorom figuruje charakteristika mernej tepelnej kapacity suchého materiálu  $c_0$ . Z toho vyplýva, že materiál skúšobných vzoriek je pred každou kalorimetrickou skúškou vysušený na  $w_m = 0\%$ , pričom hodnota mernej tepelnej kapacity suchého materiálu  $c_0$  sa určuje podľa vzťahu (3):

$$c = c_0 + (c_v - c_0) \cdot \frac{w_m}{(100 + w_m)} \quad (2)$$



Obr. 2 – Grafický priebeh teploty vodného prostredia počas kalorimetrickej skúšky [2], [4] a [5].

$$c_0 = \frac{m_V \cdot c_V + K}{m} \cdot \frac{\theta_p - \theta_k}{\theta_k - \theta} \quad (3)$$

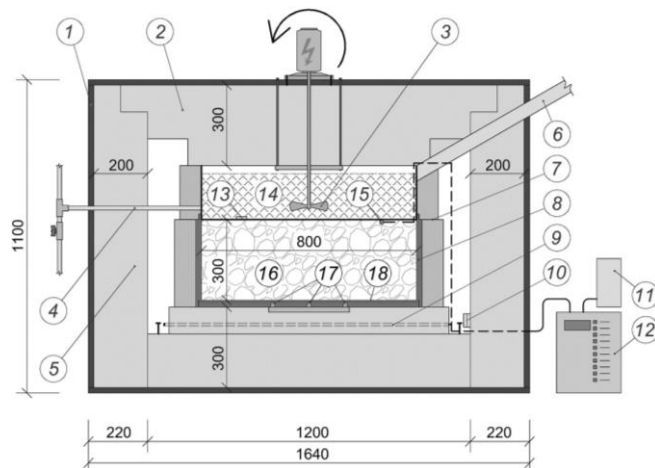
- kde je:
- $c$  – merná tepelná kapacita vzorky so známou vlhkosťou, ( $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ),
  - $c_V$  – merná tepelná kapacita vody, ( $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ),
  - $c_0$  – merná tepelná kapacita suchej vzorky, ( $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ),
  - $w_m$  – vlhkosť vzorky, (%),
  - $m_V$  – hmotnosť vody, (kg),
  - $K$  – tepelná kapacita kalorimetra, ( $J \cdot kg^{-1}$ ),
  - $m$  – hmotnosť skúšobnej vzorky, (kg),
  - $\theta_p$  – počiatková (začiatková) teplota vody, ( $^{\circ}C$ ),
  - $\theta_k$  – konečná teplota vody, ( $^{\circ}C$ ),
  - $\theta$  – teplota vzorky pred vložením do kalorimetra, ( $^{\circ}C$ ) [4].

Laboratórne stanovenie vlhkosti materiálu skúšobnej vzorky  $w_m$  sa vykonávalo podľa [7]. Z predchádzajúcich výskumných úloh KŽSTH, ktorých výsledky sú uvedené v [2] a [5] vyplývajú hodnoty vstupných parametrov pre stanovenie hodnoty mernej tepelnej kapacity  $c$ . Z predmetných zdrojov vyplýva, že mernú tepelnú kapacitu vody  $c_V$  reprezentuje hodnota  $4\,190\, J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$  a tepelnú kapacitu kalorimetra  $K$  reprezentuje hodnota  $288\, J \cdot kg^{-1}$ . Zvyšné vstupné parametre, potrebné pre stanovenie mernej tepelnej kapacity  $c$ , boli definované laboratórnymi činnosťami a odčítaním hodnôt z grafických výstupov kalorimetrických skúšok.

### 2.1.2. Charakteristika experimentálneho merania časového intervalu $t$

Experimentálny monitoring časového intervalu  $t$  pozostáva z náročnejších laboratórných činností a postupov, ako je tomu v prípade kalorimetrickej skúšky. Z vyššie uvedeného vzťahu (1) vyplýva, že časový interval  $t$  predstavuje dôležitú charakteristiku pre nepriame stanovenie

hodnoty koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$ . Pre laboratórne determinovanie časového intervalu  $t$  hrubozrnných materiálov bolo na KŽSTH opäť vyvinuté zariadenie, ktorého konštrukčné usporiadanie je zrejmé z obr. 3.

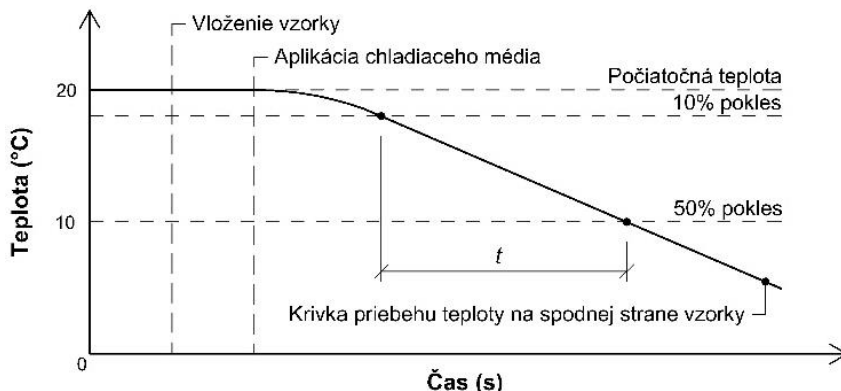


**Legenda:**

- |   |   |
|---|---|
| 1 – klimatizačná komora   | 10 – sonda merajúca teplotu vzduchu v komore    |
| 2 – poklop pre miešanie chladiaceho média                                       | 11 – zdroj elektrického napätia                 |
| 3 – lopatkové miešadlo poháňané el. motorom                                     | 12 – riadiaca a záznamová ústredňa MS4          |
| 4 – potrubie pre odtok chladiaceho média  | 13 – sonda merajúca teplotu chladiaceho média   |
| 5 – tepelnoizolačná vrstva polystyrénu  | 14 – antikoročná nádoba s chladiacim médiom     |
| 6 – potrubie pre aplikáciu chladiaceho média                                    | 15 – sonda merajúca teplotu na povrchu vzorky   |
| 7 – tepelnoizolačná vrstva sklolaminátovej skruže a nádoby pre chladiace médium | 16 – skúšobná vzorka                            |
| 8 – sklolaminátová skruž  | 17 – sondy merajúce teplotu v spodnej časti vz. |
| 9 – odporový drôt   | 18 – prenosná, teplo-vodivá platňa              |

Obr. 3 – Zariadenie pre laboratórne určovanie časového intervalu  $t$  [5].

Princíp merania časového intervalu  $t$  spočíva v monitorovaní poklesu počiatkovej teploty v spodnej časti skúšobnej vzorky. Predpripravená skúšobná vzorka známej vlhkosti a známej teploty ( $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ ) je na svojej hornej ploche ochladzovaná antikoročnou nádobou, v ktorej cirkuluje chladiace médium (voda s ľadovou triešťou teploty cca  $0\text{ °C}$ ). Stanovenie hodnoty časového intervalu  $t$  vyplýva z grafického priebehu teploty v oblasti spodnej plochy skúšobnej vzorky, kde sa stanoví časový interval v sekundách medzi 10 % a 50 % poklesom počiatkovej teploty. Predmetné stanovenie časového intervalu  $t$  je zrejmé z obr. 4. Podrobný opis postupu merania časového intervalu  $t$  je uvedený v [2], [4] a [5].



Obr. 4 – Stanovenie časového intervalu  $t$  na základe grafického priebehu [4].

## 2.2. Výsledky experimentálnych meraní

Ako bolo uvedené v predchádzajúcom texte, cieľom predmetných laboratórnych meraní bolo verifikovať hodnotu koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$  stabilizovanej zeminy z *tab. 1*, uvedenej v dokumente [1].

Skúšobnú vzorku predstavuje íl strednej plasticity (F6=Cl), ktorý je zmiešaný s hydroxidom vápenatým (s haseným vápnom). Priemerná hodnota vlhkosti ílovitého podložia železničnej trate je cca 20,00 %, pričom táto hodnota vlhkosti je prevzatá z [8] a [9], ktoré sa podrobne venujú experimentálnemu monitoringu vodného režimu konštrukcie podvalového podložia železničnej trate na Skúšobnom stende KŽSTH. Na základe STN 73 6125 [10], ktorá sa venuje stabilizovaným podkladom, je stabilizácia ílu strednej plasticity (F6=Cl) klasifikovaná do skupiny SIII, ktorá definuje orientačné množstvo vápna 7 %. Skúšobné vzorky stabilizovanej zeminy boli teda vytvorené zmiešaním vysušeného jemného ílu, do ktorého sa pridalo 20 % vody a 7 % haseného vápna. Vytvorenie skúšobnej vzorky na meranie časového intervalu  $t$  si vyžadovalo postupné plnenie sklolaminátovej skruže a následné hutnenie zmiešanej zmesi. Počas postupného plnenia sklolaminátovej skruže sa odobral materiál zmesi, z ktorého boli vytvorené 4 skúšobné vzorky na určenie mernej tepelnej kapacity  $c$  stabilizovanej zeminy (kocky rozmeru 0,100 x 0,100 x 0,100 m).

### 2.2.1. Determinovanie mernej tepelnej kapacity $c$

Pre determinovanie mernej tepelnej kapacity  $c$  skúšobnej vzorky stabilizovanej zeminy bolo spolu vykonaných 8 kalorimetrických skúšok. Numerické stanovenie hodnoty mernej tepelnej kapacity bolo vykonané zo vzťahov (2) a (3) a grafických priebehov teploty vodného prostredia v kalorimetri. V *tab. 2* sú uvedené vstupné parametre potrebné pre numerické stanovenie hodnoty mernej tepelnej kapacity  $c$  stabilizovanej zeminy.

Tab. 2 – Vstupné parametre pre stanovenie mernej tepelnej kapacity  $c$ .

Meranie č.	$m_v$ [kg]	$m$ [kg]	$\theta_p$ [°C]	$\theta_k$ [°C]	$\theta$ [°C]	$w_m$ [%]	$c_o$ [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	$c$ [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
1	12,400	1,754	49,20	47,96	24,94	19,51	1 100	1 604
2	12,416	1,821	51,41	50,02	25,20	21,48	1 054	1 609
3	12,405	1,743	51,46	50,09	25,20	19,39	1 158	1 650
4	12,401	1,773	49,86	48,63	26,35	21,34	1 080	1 627
5*	12,396	1,427	51,35	50,62	26,64	19,51	1 114	1 616
6*	12,413	1,518	51,26	50,45	25,36	21,48	1 112	1 656
7*	12,456	1,445	50,18	49,54	26,57	19,39	1 012	1 528
8*	12,407	1,447	50,60	49,88	26,44	21,34	1 109	1 651

\* kalorimetrické skúšky vykonané na vysušených skúšobných vzorkách.

Prvé 4 merania boli vykonané na 4 skúšobných vzorkách známej vlhkosti a ostatné 4 merania boli vykonané na tých istých skúšobných vzorkách v ich suchom stave. Vysušenie skúšobných vzoriek bolo vykonávané v laboratórnej sušičke po dobu 12 hodín pri teplote 105 °C.

Hodnoty mernej tepelnej kapacity  $c$  stabilizovanej zeminy, uvedené v tab. 2, vykazujú priemernú hodnotu  $c = 1\,618 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , ktorá je potrebná pre výpočet koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$  podľa vzťahu (1).

### 2.2.2. Determinovanie časového intervalu $t$

Materiál skúšobnej vzorky stabilizovanej zeminy (vysušený jemný íl strednej plasticity zmiešaný so 7 % haseného vápna a s 20 % vody) sa po vrstvách vkladal a zhutňoval do sklolaminátovej skruže. Na povrch skúšobnej vzorky sa naniesla vrstva normového suchého piesku, ktorá vytvorila lepšiu kontaktnú plochu s dnom nádoby chladiaceho média, čo zabezpečilo plynulejší prechod chladu do materiálu skúšobnej vzorky.

Pre determinovanie časového intervalu  $t$  skúšobnej vzorky stabilizovanej zeminy boli vykonané 4 experimentálne merania. Každé meranie časového intervalu  $t$  malo časovo náročný priebeh, nakoľko jedno meranie si vyžadovalo približne 30 hodín, počas ktorých bolo nutné pravidelne vypúšťať a dopĺňať chladiacu zmes do zariadenia, čo zabezpečovalo konštantný ochladzovací efekt na povrchu skúšobnej vzorky. V tab.3 sú uvedené parametre jednotlivých meraní časového intervalu  $t$ , kde  $\theta_p$  je počiatková teplota v spodnej časti skúšobnej vzorky,  $\theta_{10\%}$  a  $\theta_{50\%}$  predstavujú 10 % a 50 % pokles od počiatkovej teploty v spodnej časti skúšobnej vzorky.

Tab. 3 – Vstupné parametre pre stanovenie mernej tepelnej kapacity  $c$ .

Meranie č.	$\theta_p$ [°C]	$\theta_{10\%}$ [°C]	$\theta_{50\%}$ [°C]	$t$	
				[hod]	[s]
1	28,78	25,88	14,38	21:17:00	76 620
2	19,75	17,78	9,88	23:48:30	85 680
3	22,10	19,89	11,05	22:49:00	82 140
4	20,23	18,21	10,12	20:41:30	74 490

Hodnoty časového intervalu  $t$  stabilizovanej zeminy uvedené v *tab. 3* vykazujú priemernú hodnotu  $t = 79\,733$  s, ktorá je potrebná na výpočet koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$  podľa vzťahu (1).

Sklolaminátová skruž zariadenia pre určenie časového intervalu  $t$  má priemer dna 0,800 m a výšku 0,300 m. Celkovo sa do sklolaminátovej skruže aplikovalo 240,316 kg materiálu skúšobnej vzorky (spolu s vrchnou tenkou vrstvou piesku). Výška skúšobnej vzorky je totožná s výškou sklolaminátovej skruže ( $h = 0,300$  m). Z toho vyplýva, že objemová hmotnosť skúšobnej vzorky je  $\rho = 1594$  kg.m<sup>-3</sup>.

### 3. Záver

Hodnoty laboratórne stanovených parametrov  $c$  a  $t$  uvedené v *tab. 2* a v *tab. 3* nevykazujú väčší rozdiel ako 7,5 % od aritmetického priemeru hodnôt jednotlivých parametrov. Preto je možné konštatovať, že jednotlivé laboratórne merania boli vykonávané rovnako, pričom boli dodržiavané predpísané podmienky uvedené v [4].

Laboratórne získané hodnoty jednotlivých veličín boli dosadené do vzťahu (1), z ktorého bola určená finálna hodnota identifikovaného koeficientu tepelnej vodivosti stabilizovanej zeminy  $\lambda = 0,72$  W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Legislatívny dokument [1] uvádza hodnotu stabilizovanej zeminy  $\lambda = 1,75$  W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> (*tab. 1*). Rozdiel medzi normatívnou a laboratórne určenou hodnotou koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$  je až 1,03 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.

Nevýhodou je, že legislatívny dokument [1] neuvádza spôsob ani okrajové podmienky, za akých bola stanovená predmetná hodnota  $\lambda$  stabilizovanej zeminy z *tab. 1*. Vo všeobecnosti, pojem stabilizovaná zemina zahŕňa širokú škálu rôznych materiálov, ktoré sa navzájom odlišujú svojimi deformačnými, ako aj tepelno-technickými vlastnosťami.

Na základe týchto skutočností je ťažko predikovať, či počas determinovania hodnoty  $\lambda$  stabilizovanej zeminy bola tvorcami predmetného legislatívneho dokumentu použitá rovnaká zemina (íl strednej plasticity), spojivo (hasené vápno), ako aj vlhkosť zmesi (20 %) a bola skúšaná rovnako veľká vzorka. Okrem toho je zaujímavé, že hodnota koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$  vápenných omietok je podľa zdroja [11] v priemere  $\lambda = 0,70$  W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, pričom je známe, že vápenná omietka sa skladá zo zmesi vápna a puzolánov, piesku a vody.

Z predchádzajúcich verifikácií koeficientov tepelnej vodivosti  $\lambda$ , ktoré boli realizované v laboratóriu KŽSTH, a ktorých výsledky sú uvedené v [2] a [5] vyplýva, že rozdiel medzi hodnotou normatívneho a laboratórne stanoveného koeficientu tepelnej vodivosti ílu bol  $0,29 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a v prípade piesku bol rozdiel v predmetných hodnotách koeficientu tepelnej vodivosti len  $0,16 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

Z prezentovaných hodnôt, ako aj z ďalších skutočností uvedených v [2] a [5] vyplýva, že v laboratórnych podmienkach KŽSTH je možné dosahovať relevantné a korektné výsledky determinovania tepelno-technických charakteristík stavebných materiálov. Taktiež je možné konštatovať, že hodnota koeficientu tepelnej vodivosti stabilizovanej zeminy  $\lambda = 0,72 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  bola determinovaná korektné.

Predmetná hodnota koeficientu tepelnej vodivosti  $\lambda$  stabilizovanej zeminy bude ďalej využívaná vo výskumných činnostiach KŽSTH, ktorých cieľom bude vytvoriť návrh novelizácie aktuálne platnej metodiky dimenzovania podvalového podlažia voči nežiadúcim účinkom mrazu uvedenej v [1].



## Literatúra

- [1] TNŽ 73 6312 Navrhovanie konštrukčných vrstiev podvalového podložia. GR ŽSR, august 2005
- [2] Ižvolt, L., Dobeš, P., Mečár, M.: Contribution to the methodology of the determination of the thermal conductivity coefficients  $\lambda$  of materials applied in the railway subbase structure. In: Communications : scientific letters of the University of Žilina. - ISSN 1335-4205. - Vol. 15, no. 4 (2013), s. 9-17
- [3] [https://www.sutn.sk/eshop/public/standard\\_detail.aspx?id=68151](https://www.sutn.sk/eshop/public/standard_detail.aspx?id=68151)
- [4] ČSN 72 1105 Stanovenie koeficientu tepelnej vodivosti metódou nestacionárneho tepelného toku. Platnosť od 1.11.1991
- [5] Dobeš, P.: Optimalizácia návrhu konštrukcie podvalového podložia na nedopravné zaťaženie (Doktorandská dizertačná práca). Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, 2015, počet strán: 136
- [6] Pieš, J.: Experimentálna analýza vplyvu nedopravného zaťaženia na konštrukčnú hrúbku ochrannej vrstvy pláne (Diplomová práca). Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, 2017, počet strán: 83
- [7] STN 72 1012 Laboratórne stanovenie vlhkosti zeminy, 09/1980
- [8] L. Ižvolt, P. Dobeš, "Experimental monitoring of moisture changes in railway track structure," In: TRANSCOM 2015: 11-Th European conference of young researchers and scientists: Žilina, June 22-24, 2015, Slovak Republic. Section 7: Civil engineering. Žilina: University of Žilina, 2015. ISBN 978-80-554-1049-4, pp. 46-51.
- [9] L. Ižvolt, P. Dobeš, A. Pultznerová, "Monitoring of moisture changes in the construction layers of the railway substructure body and its sub-grade," In: Procedia Engineering. ISSN 1877-7058. Vol. 161 (2016), online, pp. 1049-1056.
- [10] STN 73 6125 Stavba vozoviek, Stabilizované podklady. Platnosť od 1.11.2011
- [11] <http://www.mapei.com/public/SK/documents/882/attach/Mape-Antique%20SK.pdf>

## PodĎakovanie

*Tento príspevok bol realizovaný s podporou grantovej úlohy VEGA 1/0275/16 „Optimalizácia konštrukcie podvalového podložia z aspektu nedopravného zaťaženia“.*

# Dopravní projekty propojení Asie a Evropy

**Jiří Pospíšil**

*Fakulta stavební ČVUT v Praze*

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

e-mail: [jiri.pospisil.1@fsv.cvut.cz](mailto:jiri.pospisil.1@fsv.cvut.cz)

## **Abstrakt**

Tento příspěvek se zabývá možnostmi propojení Eurasie železniční sítí, což je důležité zejména pro rychle se rozvíjející čínské hospodářství. Z výstavby nových dopravních koridorů by však mohly těžit i jiné země, jako jsou státy Střední Asie nebo Rusko. Zmíněny jsou také negativní názory a pohledy na tyto projekty nebo historické pokusy o jejich realizaci z období druhé světové války.

## **Klíčová slova**

Vysokorychlostní trať, široký rozchod, kontejnerová doprava, Nová Hedvábná stezka.

## **Transport projects of connecting Asia and Europe**

### **Abstract**

This article deals with the possibilities of connecting Eurasia with the rail network which is important especially for the rapidly developing Chinese economy. However, other countries such as those in Central Asia and Russia could also benefit from the construction of new transport corridors. Negative opinions and views on these projects or historical attempts to implement them from the Second World War are also mentioned.

### **Keywords**

High-speed line, wide gauge, container transport, New Silk Road.

## 1. Úvod

Od starověké historie se objevuje potřeba zajištění dopravního spojení mezi oběma konci euroasijského kontinentu. Jako nevhodnější se může jevit letecká doprava pro dopravu osobní a námořní kontejnerová doprava pro dopravu nákladní. Tak tomu v současné době i skutečně je a tyto dva druhy dopravy jsou na dané trase nejpoužívanější. Oba dva druhy jsou však značně neekologické, námořní doprava je navíc velmi pomalá a časově nespolehlivá. Řešením by tedy mohlo být propojení Evropy a Asie pozemní cestou, a to konkrétně sítí vysokorychlostních tratí. Železniční doprava totiž nevytváří příliš velkou zátěž pro životní prostředí a v porovnání k letecké dopravě, která disponuje svou rychlostí, není doba přepravy po železnici zásadně menší. Jedním z důvodů mohou být také dlouhé přípravy před vzletem letadla (odbavení cestujících, nakládání zavazadel, rozmrazení letadla, technická kontrola aj.).

Budeme-li uvažovat o přímém propojení Asie s Evropou vysokorychlostní železniční sítí, v podstatě přicházejí v úvahu dvě možnosti, a to propojení přes území Turecka nebo Ruska. Oba dva státy se totiž nacházejí jak na asijském, tak na evropském kontinentě. V obou státech je rovněž již v provozu několik kilometrů vysokorychlostních tratí, ty ale nepropojují evropskou síť s asijskou.

Při propojení přes území Turecka připadá v úvahu úžina Bospor a město Istanbul, a to kvůli již stávajícím úsekům vysokorychlostních tratí spojujícím města Ankara, Istanbul a Konya (viz Obr. 1). Vysokorychlostní trať z Ankary do Istanbulu však v Istanbulu končí a v evropské části státu nepokračuje [1].

V Rusku se nabízí možností propojení více, ovšem jedním z největších problémů může být široký rozchod tratí o hodnotě 1 520 mm [2] v zemích bývalého Sovětského svazu. Chceme-li hovořit o propojení Asie s Evropou, je jasné, že tato překážka nemůže zůstat nevyřešená a v případě vysokorychlostního spojení není vhodné přestupování nebo překládání nákladu na vozy s jiným rozchodem.



Obr. 1 – Stávající síť vysokorychlostních tratí v Turecku.

Původní obrázek „DÖRRBECKER, Maximilian - Wikipedia“ upraven autorem.

## 2. Historie

První projekční práce na propojení Evropy a Asie transkontinentální železnicí sahají až do roku 1942, tedy do doby, kdy vrcholila druhá světová válka. Tento rozsáhlý úkol zahájit projekt širokorozchodné trati o rozchodu 3 000 mm obdržely německé železnice – Deutsche Reichsbahn [6].

Rozsah těchto prací byl mimořádný, protože pro třímetrový rozchod bylo nutné řešit i mnoho dalších souvisejících technických problémů celým železničním svrškem počínaje a zcela novou konstrukcí vozů a pohonnými systémy u trakčních vozidel konče. Byla navržena maximální rychlost pro osobní dopravu 200 až 250 km·h<sup>-1</sup> a hmotnost na nápravu 25 t. Pro nákladní vlaky byla navržena rychlost 100 km·h<sup>-1</sup> při nápravovém tlaku 35 t. Vzhledem k poměrně velkým silám připadajícím na nápravu a k dynamice jízdy bylo nutno navrhnout nové únosnější kolejnice s označením S95 s hmotností 95 kg·m<sup>-1</sup> a S77 s hmotností 70,7 kg·m<sup>-1</sup> a s tím související upeřňovací, výhybky a další komponenty železničního svršku, ale i technologie svařování kolejnic. Zvláště bylo přihlédnuto k materiálu kolejnic, protože v zimě 1941-1942 docházelo při nízkých teplotách k častým lomům. Místo štěrkového lože byl navrhován a zkoušen i beton, tedy dnešní obdoba pevné jízdni dráhy. Pro získání zkušeností byla prováděna celá řada experimentálních zkoušek nových typů řešení [6].

V případě železničního spodku bylo nutno řešit zejména jeho únosnost, a to zvláště u staveb železničního spodku, jako jsou mosty, propustky atd. V neposlední řadě bylo nutno řešit i signalizační a zabezpečovací systémy. Byla zpracována i celá řada návrhů nových

nádraží pro širokorozchodnou trať a styk s normálně rozchodnou. Protože délka vlaků byla navrhována až 1 000 m, byly pro cestující projektovány k vlakům pojezdové chodníkové pásy [6].

Lokomotivy musely splňovat zejména výkonové parametry a nebylo zanedbáno ani aerodynamické řešení jejich tvaru. Všechny projekty trakčních vozidel vznikaly ve válečných letech datovaných rokem 1943, kdy byly vyráběny a provozovány klasické parní lokomotivy s výkonem okolo 1 500 kW, což ovšem nebylo pro širokorozchodnou železnici dostačující. Nově navrhované lokomotivy s maximální rychlostí až 250 km·h<sup>-1</sup> dosahovaly výkonu až okolo 20 000 kW. Pro srovnání, dnešní jednotka ČD 680 Pendolino s maximální rychlostí 230 km·h<sup>-1</sup> má výkon 3 920 kW [7]. Po válce byly však tyto rozsáhlé projekční práce, na kterých pravděpodobně pracovala i řada zahraničních techniků včetně českých, kteří byli totálně nasazeni na práce v Německu, uloženy v archivu a nebyly realizovány [6].

### 3. Současnost

Hlavní ideou, jak propojit Evropu a Asii železnicí, je propojení evropské sítě s čínskou. Iniciátorem těchto projektů je Čína. Hlavním motivem je zajištění dodávky surovin z Evropy pro rychle se rozvíjející čínské hospodářství. Například za investice do rozvoje železnic v Myanmaru má již prý Čína slíbené lithium, které potřebuje pro výrobu baterií [3]. V žádném případě se však nedá říct, že tyto tratě budou schopny krátkodobě nebo dlouhodobě plnohodnotně nahradit námořní velkokapacitní kontejnerovou dopravu, která je v rámci obchodů mezi Čínou a Evropou na prvním místě.

V budoucnu by měly vzniknout tři dopravní koridory spojující Čínu s ostatními zeměmi, z toho dva povedou až do Evropy. První z nich by měl vést severně přes Mongolsko, Rusko a Kazachstán a dále přes Ukrajinu, Polsko, Německo a Francii až do Londýna. Částečně by měl kopírovat trasu Transsibiřské magistrály (viz Obr. 2). Druhý bude objíždět Kaspické moře z jižní strany a povede přes Kyrgyzstán, Uzbekistán, Turkmenistán a Írán dále do Turecka a přes Balkán a střední Evropu do Německa, čímž naváže na starověkou Hedvábnou stezku (viz Obr. 3). Třetí koridor, který nevede až do Evropy, má za úkol obsluhovat jihovýchodní Čínu a napojit země poloostrova Zadní Indie, jako Vietnam, Thajsko, Malajsii a Singapur. Přes Myanmar by měl vést až do Indie [3].

Tyto plánované dopravní koridory jsou součástí rozsáhlého státního čínského investičního projektu Belt and Road Initiative (BRI), taktéž nazývaného jako Nová Hedvábná stezka, financovaného prostřednictvím Asijské infrastrukturální investiční banky, jejímž hlavním akcionářem je Čína. Projekt BRI, o kterém se poprvé zmínil čínský prezident Si Ťin-pching v Kazachstánu v roce 2013 [8], by se měl přímo dotknout 68 zemí

světa, a tedy asi dvou třetin světové populace, a je součástí čínské zahraniční hospodářské politiky s cílem podpořit její export a tím i zvýšit zaměstnanost a zároveň účelně využít čínské finanční prostředky na investice v zahraničí. Součástí BRI je i řada projektů, které zahrnují silniční a námořní přepravu nebo výstavbu ropovodů a plynovodů [4], [8].

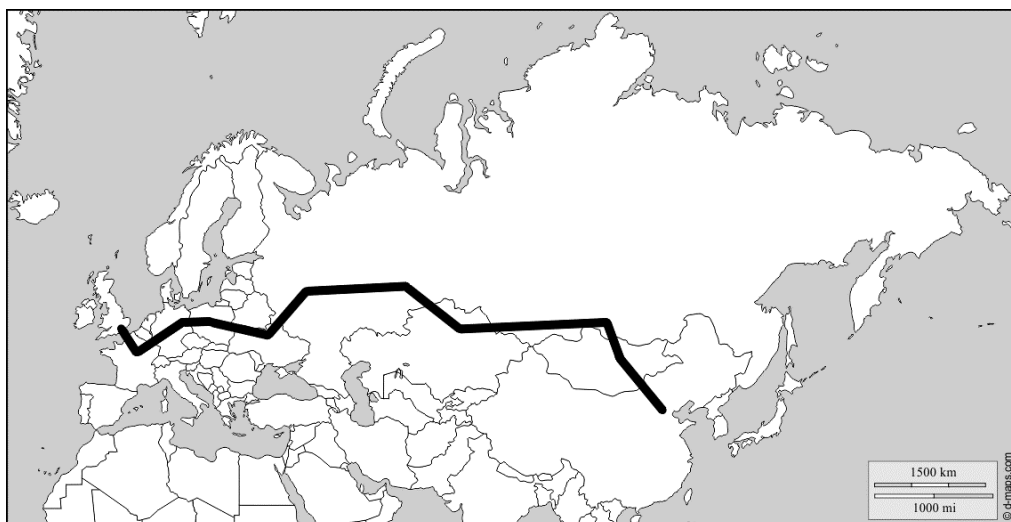
Původně bylo hlavním cílem projektu BRI zvýšení čínského ekonomického vlivu v oblasti Střední Asie, teprve později se objevila myšlenka spolupráce s ostatními státy. Státy Střední Asie těží zejména z čínských investic do místní infrastruktury, protože v těchto zemích je právě infrastruktura nejzaostalejší. Tato skutečnost se však silně nelíbí Rusku, které Střední Asii považuje za svou oblast a má snahu zde hájit své zájmy jako za doby Sovětského svazu. Velký význam může mít projekt BRI i pro Evropu. Díky němu se podstatně zvyšují možnosti obchodu s asijskými zeměmi, šance na rozvoj investic a také se zlepšují hospodářské a ekonomické vztahy. V případě České republiky se jedná spíše o projekt politický než ekonomický, tedy o odtržení od dosavadních euroatlantických spojenců a o příklon k Číně [8].

Projekt BRI je ale také terčem kritiky. Řada ekonomů varuje před zadlužením méně rozvinutých států zapojených do projektu, západní státy podezírají Čínu z toho, že chce prostřednictvím stezky rozšiřovat svou moc a že projekt přinese zakázky spíše jen čínským firmám [9]. Panují také obavy ze sporů o území, zejména mezi Kyrgyzstánem, Tádžikistánem a Uzbekistánem stále nejsou po rozpadu Sovětského svazu jasně vymezené hranice [8]. Odborníci dokonce varují před přerušением přirozených migračních tras zvířat a následným vymřením slonů nebo před zvýšenou kriminální činností, jako je obchod s lidmi a drogami [10].

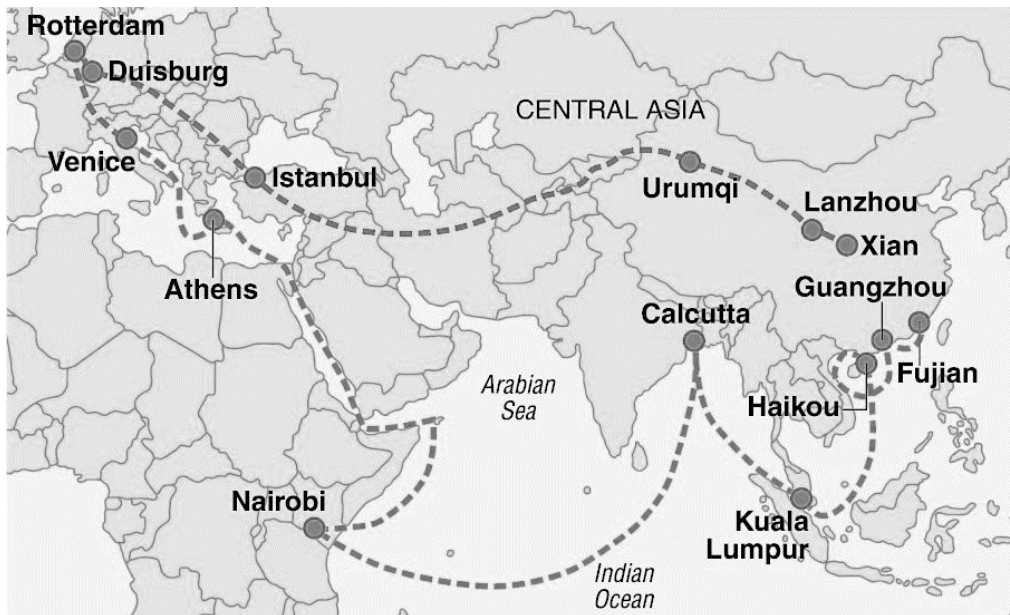
V porovnání s námořní kontejnerovou dopravou čelí železniční doprava určitým výhodám a nevýhodám. Hlavními výhodami je její rychlost a spolehlivost přepravního času (z angl. Transit Time Reliability). Námořní přeprava je totiž v porovnání se železniční velmi pomalá. Zatímco transit mezi čínskými a evropskými přístavy trvá čtyři až pět týdnů, cesta vlakem by mohla trvat již zmíněné dva dny. Navíc, při využití železniční dopravy se podstatně snižuje počet překládek a manipulace s kontejnerem. Na druhou stranu hlavní výhodou má námořní přeprava z hlediska kapacity, a tím pádem i jednotkové ceny. Je řádově kapacitnější, a tedy asi dvakrát levnější. Zatímco v případě železniční dopravy mluvíme v rámci vlakové jednotky o desítkách kontejnerů, v rámci námořní jednotky až o tisících kontejnerů. Využití vysokorychlostních tratí tak bude atraktivní hlavně pro specifické (zejména drahé) náklady s vysokými požadavky na časovou spolehlivost, které při cestě po moři nelze dosáhnout [4].

Od roku 2007 bylo vypraveno několik nákladních vlaků mezi Evropou a Čínou, a to včetně vlaků Českou republikou a Čínou. Vlaky s řádově

desítkami kontejnerů překonávaly vzdálenost cca 10 000 km a cesta jim trvala v rozmezí od 15 do 25 dní, zatímco přeprava po moři by trvala přibližně dvojnásobek. Využity byly přitom dvě cesty – v jednom případě severně po Transsibiřské magistrále, ve druhém o něco jižněji přes Kazachstán, Rusko a Ukrajinu na Slovensko. V obou případech byly vozy dvakrát překládány – na hranici mezi Čínou a Mongolskem, resp. Čínou a Kazachstánem na vozy pro široký rozchod a na hranici mezi Běloruskem a Polskem, resp. Ukrajinou a Slovenskem zpět na vozy pro normální rozchod a kvůli hmotnostnímu omezení vlaků v Evropě také na dvě vlakové soupravy (kromě limitu 8 tun na metr vlaku a 22,5 tun na nápravu platí v Evropě limit délky vlaku 750 metrů a limit hmotnosti vlaku 2 250 tun [11]). Jednalo se však o cesty převážně po severní trase – jednak protože je o 550 km kratší, jednak protože je doba přepravy po ní o šest dní rychlejší [5].



Obr. 2 – Jedna z možností propojení evropské železniční sítě s čínskou.  
Původní obrázek „D-MAPS.COM. Tobias area 2 – coasts, boundaries“ upraven autorem.



Obr. 3 – Předpokládaná trasa Nové Hedvábné stezky v porovnání s námořní trasou.

Původní obrázek „MEDIUM. China's New Silk Road“ upraven autorem.

#### 4. Budoucnost

Je pozoruhodné, že od prvních návrhů uplynulo více než půl století a znovu se objevují návrhy a projekty transkontinentální železnice mezi Evropou a Asií. Z hlediska komfortu pro cestující a velkoobjemové přepravy zboží v kontejnerech jsou však dnešní projekty pojaty zcela jinak. Vysoký komfort pro cestující lze zajistit podobně jako v námořní dopravě v rozlišení několika tříd. Světové železnice již v současné době získaly dostatek zkušeností s provozem vysokorychlostních vlaků, takže by nemělo být problémem stavět transkontinentální železnici pro rychlost 400 km·h<sup>-1</sup>. Železnice přinese přímé propojení velkých měst a aglomerací, které bude výrazně energeticky a organizačně konkurenceschopné letecké dopravě a nezávislé na povětrnostních podmínkách a situaci ve vzdušném prostoru [6].

Hospodářské propojení Evropy s Asií, zejména s Čínou, vyvolává velký tlak na přepravní vztahy, které se nyní uskutečňují leteckou a námořní dopravou – energeticky velmi náročnou. Využitím elektrifikovaných tratí lze počítat se spotřebou elektrické energie cca 4 kWh na 100 km, což je přibližně desetkrát méně než u letecké dopravy [6]. Ještě markantněji vychází energetické úspory v porovnání s námořní dopravou. V budoucnosti mohou být přitom využity i jiné druhy pohonu trakčních vozidel, zejména reaktorů, které se stále více používají v ponorkách, nebo pohonu všech dvojkolí ve vlakových jednotkách s využitím synchronních



trakčních motorů s permanentními magnety a bez převodových skříní, čímž by se dosahovalo potřebných vysokých trakčních výkonů pro vysokorychlostní vozidla [6].

Stavbu železničních koridorů, které propojí oba konce Eurasie, si budoucnost zcela jistě vynutí, určitě však vyvstane otázka volby rozchodu s přihlédnutím k rozměrům kontejnerů používaných v námořní dopravě, k požadovanému komfortu cestujících na dlouhých transkontinentálních vzdálenostech a k docílení vyšší bezpečnosti než u stávající letecké dopravy [6].

Jinou možností by také mohlo být uzpůsobení vozů normálnímu i širokému rozchodu, a tedy i oběma průjezdným průřezům. Toto řešení již funguje na konvenčních dráhách propojujících Francii a Španělsko, tedy mezi rozchody 1 435 mm a 1 668 mm [2]. Dvojkolí vozů pro spojení mezi Čínou a Evropou by mělo možnost se teleskopicky přizpůsobit aktuálnímu rozchodu koleje. Za předpokladu, že je průjezdný průřez pro trať s normálním rozchodem menší než průjezdný průřez pro trať se širokým rozchodem, by mohlo být řešením, kdyby se dvojkolí u vozové skříně pro trať s normálním rozchodem teleskopicky roztáhnulo na široký rozchod. Toto řešení by se také mohlo projevit na nákladech – přizpůsobení několika stovek až tisíců vlakových jednotek oběma rozchodům a využití stávajících tras (zejména Transsibiřské magistrály) bude zcela jistě levnější než výstavba nové vysokorychlostní železnice délky v řádech desítek tisíc kilometrů.

## Literatura

- [1] Vysokorychlostní tratě v Turecku. Vysokorychlostní železnice [online]. 2013 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/vysokorychlostni-trate-v-turecku>
- [2] Rozchod koleje. In: Wikipedie: otevřená encyklopedie [online]. Wikimedia Foundation, 2003. Stránka naposledy edit. 18. 7. 2019 v 22:28 [cit. 2019-08-27]. Česká verze. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Rozchod\\_koleje](https://cs.wikipedia.org/wiki/Rozchod_koleje)
- [3] Čína chce protáhnout vysokorychlostní železnici do Evropy. Novinky [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/zahranicni/svet/194253-cina-chce-protahnout-vysokorychlostni-zeleznici-do-evropy.html>
- [4] KOLÁŘ, Petr. Fakta a mýty o nákladní železniční přepravě mezi Čínou a Evropou. Logistika [online]. 2017 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-65914790-fakta-a-myty-o-nakladni-zeleznici-preprave-mezí-cinou-a-evropou>
- [5] ŠIROKÝ, Jaromír. Dopravní projekty mezi Čínou a Evropou. Logistika [online]. 2009 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-37418600-dopravni-projekty-mezí-cinou-a-evropou>

- [6] PALÍK, František, BLAŽEK, Antonín a KOŘÍNEK, Jiří. Vysokorychlostní železnice a nekonvenční dopravní systémy. Nakladatelství Růžolčící chrochtík, 2015. ISBN 978-80-906229-0-6.
- [7] Elektrická jednotka 680. In: Wikipedie: otevřená encyklopedie [online]. Wikimedia Foundation, 2003. Stránka naposledy edit. 19. 6. 2019 v 13:29 [cit. 2019-08-26]. Česká verze. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1\\_\\_jednotka\\_\\_680](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1__jednotka__680)
- [8] Nová Hedvábná stezka. In: Wikipedie: otevřená encyklopedie [online]. Wikimedia Foundation, 2003. Stránka naposledy edit. 12. 8. 2019 v 08:02 [cit. 2019-08-26]. Česká verze. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Nov%C3%A1\\_\\_Hedv%C3%A1bn%C3%A1\\_\\_stezka](https://cs.wikipedia.org/wiki/Nov%C3%A1__Hedv%C3%A1bn%C3%A1__stezka)
- [9] Nová Hedvábná stezka: K čemu má sloužit novodobá dopravní tepna, která by měla spojit Evropu, Asii a Afriku?. Info [online]. [cit. 2019-08-26]. Dostupné z: <https://www.info.cz/nova-hedvabna-stezka-wiki#art-title>
- [10] Hrozby Nové hedvábné stezky. Vymření slonů, obchod s dluhy a rozvoj trhu s drogami. Aktuálně [online]. [cit. 2019-08-26]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/zahranici/nova-hedvabna-stezka-cina-obchod-sloni-obchod-s-lidmi/r~3f75b7c6294511e99182ac1f6b220ee8/>
- [11] Double-stack rail transport. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. Wikimedia Foundation, 2003. Stránka naposledy edit. 26. 7. 2019 v 19:06 [cit. 2019-08-27]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Double-stack\\_rail\\_transport](https://en.wikipedia.org/wiki/Double-stack_rail_transport)

### **Poděkování**

*Poděkování patří doc. Ing. Haně Krejčířkové, CSc. a doc. Ing. Martinu Lidmilovi, Ph.D. za cenné rady při zpracování příspěvku.*



# Zvýšení kvality parametrů vybraných železničních tratí mimo síť TEN-T

Ing. Pavel Purkart<sup>1</sup>, Ing. Tomáš Javořík, Ph.D.<sup>2</sup>, Ing. David Vodák<sup>3</sup>

ČVUT v Praze Fakulta dopravní

Konviktská 20, 110 00, Praha 1 – Staré Město

e-mail\_1: purkapav@fd.cvut.cz,

e-mail\_2: javorik@fd.cvut.cz,

e-mail\_3: vodakdav@fd.cvut.cz.

## Abstrakt

V minulých letech byly na území České republiky investovány prostředky do zlepšování infrastruktury nejen klíčových železničních koridorů, ale i do železničních tratí zařazených mezi dráhu celostátní mimo síť TEN-T a dráhy regionální. Článek diskutuje některé z těchto případů a zabývá se jejich porovnáním.

## Klíčová slova

železniční síť mimo TEN-T, zvýšení kvality traťových parametrů, investice

## The Improving Quality of Rail Line Parameters Out of TEN-T Network

### Abstract

In the last years there were significant investments for improving quality of rail lines out of TEN-T network in the Czech Republic (nationwide railways out of TEN-T network and regional railways), not only in the railway corridors, which are part of TEN-T network. The article focuses on some of these cases and deals with comparison.

### Keywords

Rail systems out of TEN-T network, improving quality of rail line parameters, investment

## 1. Úvod

V minulých letech došlo v České republice k významným investicím do železničních tratí mimo síť TEN-T s cílem zlepšit stav infrastruktury i mimo páteřní železniční síť. Na vybraných částech zmíněné železniční sítě dochází k investicím dodnes, nicméně s ohledem na skutečnost, že prakticky všechny projekty byly realizovány s přispěním finančních zdrojů EU a budoucí vývoj a nastavení unijních fondů nejsou dosud zcela vyjasněny, nedá se snadno predikovat, jak se tento stav bude dále vyvíjet.

Pro účely analýzy bylo vybráno deset úseků železničních tratí mimo síť TEN-T v průřezu celou Českou republikou, a to konkrétně následující úseky (čísla tratí dle platného knižního jízdního řádu, dále jen KJŘ):

- trať č. 036 v úseku Liberec – Tanvald,
- trať č. 081 v úseku Benešov nad Ploučnicí – Rumburk,
- trať č. 142 Karlovy Vary dolní nádraží – Johanngeorgenstadt,
- trať č. 173 v úseku Praha-Smíchov – Beroun-Závodí,
- trať č. 175 v úseku Rokycany – Příkosice,
- trať č. 194 v úseku České Budějovice – Volary,
- trať č. 238 v úseku Pardubice-Rosice nad Labem – Ždírec nad Doubravou,
- budoucí část tratě 250 Hrušovany u Brna – Židlochovice,
- trať č. 291 v úseku Zábřeh na Moravě – Šumperk,
- trať č. 291 v úseku Šumperk – Kouty nad Desnou.

Kromě trati č. 291 v úseku Šumperk – Kouty nad Desnou, která je ve vlastnictví Svazku obcí údolí Desné, se jedná o investice na síti SŽDC. Většina investičních akcí kromě rekonstrukce trati Hrušovany u Brna – Židlochovice byla prakticky již realizována, a tak se jedná o skutečné náklady.

## 2. Výše investičních nákladů

Do jednotlivých projektů byly vkládány odlišné výše investic, a to s ohledem na rozdílné délky předmětných úseků a rozsah (stupeň) provedení jejich rekonstrukce. S ohledem na tyto skutečnosti byly částky přepočteny na jeden kilometr železniční trati tak, aby bylo možné provést srovnání. Investice byly provedeny v různých letech, nicméně i tak lze hodnoty považovat za relativně srovnatelné, jelikož míra přírůstku cen vlivem inflace je v posledních letech poměrně malá. Tyto hodnoty shrnuje Tabulka 1.

Tabulka 1: Náklady na jeden kilometr rekonstrukce železniční tratě  
(zdroj: veřejně dostupné materiály SŽDC)

číslo dle KJŘ	traťový úsek	délka	jedn. nákl. [mil. Kč/km]
036	Liberec – Tanvald	27	33,5
081	Benešov nad Ploučnicí – Rumburk	50	28,9
142	Karlovy Vary dolní n. – Johanngeorgenstadt	46	14,4
173	Praha–Smíchov – Beroun–Závodí	32	28,8
175	Rokycany – Příkosice	13	82,3
194	České Budějovice – Volary	94	17,3
238	Pardubice-Rosice n. L. – Ždírec nad Doubravou	68	17,7
250	Hrušovany u Brna – Židlochovice	3	255
291	Zábřeh na Moravě – Šumperk	14	122,7
291	Šumperk – Kouty nad Desnou	19	21,1

Z Tabulky 1 je patrné, že většina nákladů přepočtených na jeden kilometr se pohybuje cca mezi 15 a 35 mil. Kč. Zhruba od výše 30 mil. se pak může jednat o kompletní nebo téměř kompletní rekonstrukce tratí (typicky trať Liberec – Tanvald), pokud jsou podmínky příznivé a poměry nenáročné, naopak při částkách kolem 15 až 20 mil. Kč/km nebyla nikdy rekonstrukce tratě provedena zcela kompletně a některé starší části tratě prošly pouze opravou či dílčí rekonstrukcí.

Významně pak z měrných nákladů vybočují tři železniční tratě. Prvních z nich je traťový úsek Rokycany – Příkosice s měrnými investičními náklady zhruba 80 mil. Kč/km. Zde vyšší náklady připadají jednak na poměrně velké množství žel. přejezdů na trati (cca dva přejezdy na 1 km trati), a jednak obecně i na složitost zabezpečovacího zařízení, jelikož kromě výskytu velkého množství návěstních bodů byla trať prakticky ihned pro rekonstrukci zapojena do CDP Praha. Ještě vyšší náklady pak vykazují traťové úseky Zábřeh na Moravě – Šumperk a Hrušovany u Brna – Židlochovice. V obou jmenovaných případech došlo nebo dochází k elektrizaci trati, kompletní rekonstrukci a v případě druhého zmíněného úseku prakticky k výstavbě nové železniční trati, jelikož ta nebyla více než deset let téměř vůbec pojížděna. V druhém případě je započtena i rekonstrukce stanice Hrušovany u Brna, kterou je potřebné s obnovením provozu do Židlochovic provést.

### 3. Změna traťových poměrů a vliv na provoz

S investičními akcemi jsou spojeny přirozeně i změny jednotlivých traťových poměrů.

Jedním ze základních parametrů je traťová rychlost (uvažován je až rychlostní profil s nedostatkem převýšení 130 mm, tj.  $V_{130}$ ). Autorským

týmем byly sledovány intervaly traťové rychlosti charakteristické pro danou železniční trať před provedením investiční akce a po ní, a to konkrétně v intervalech (30;60>, (60;80>, (80;100>, (100;120> a (120;160> km/h, přičemž výsledky shrnuje Tabulka 2.

*Tabulka 2: Traťové rychlosti charakteristické pro danou trať před a po provedení investiční akce (zdroj: neveřejně dostupné materiály SŽDC)*

číslo dle KJŘ	traťový úsek	rychlostní interval před investiční akcí [km/h]	rychlostní interval po investiční akci [km/h]
036	Liberec – Tanvald	(30;60>	(30;60>
081	Benešov nad Ploučnicí – Rumburk	(60;80>	(80;100>
142	Karlovy Vary dolní n. – Johannegeorgenstadt	(30;60>	(60;80>
173	Praha–Smíchov – Beroun–Závodí	(60;80>	(60;80>
175	Rokycany – Příkosice	(30;60>	(60;80>
194	České Budějovice – Volary	(60;80>	(80;100>
238	Pardubice-Rosice n. L. – Ždírec nad Doubravou	(60;80>	(80;100>
250	Hrušovany u Brna – Židlochovice	(30;60>	(60;80>
291	Zábřeh na Moravě – Šumperk	(30;60>	(60;80>
291	Šumperk – Kouty nad Desnou	(30;60>	(60;80>

Z tabulky je patrné, že mimo síť TEN-T prakticky nedochází k rekonstrukcím tratí nad traťovou rychlost 100 km/h. To v současné době vede k tomu, že trať nemusí být vybavena kódováním vlakového zabezpečovače a hnací, resp. řídicí, vozidla vlakovým zabezpečovačem. Ve většině případů pak dochází ke zvýšení o jeden vymezený interval, tj. průměrně o 20 km/h.

K posunu v rámci intervalu traťové rychlosti prakticky nedošlo u následujících dvou traťových úseků:

- Liberec – Tanvald,
- Praha-Smíchov – Beroun-Závodí.

V prvním jmenovaném případě jde především o důsledek náročných směrových poměrů této železniční tratě, na níž se nachází velké množství oblouků o malých poloměrech neumožňujících zvýšení rychlosti nad 60 km/h. S ohledem na významný obslužný charakter trati zde nebylo cílem navrhovat přeložky tak, aby tato slabá stránka trati byla eliminována. Přesto došlo k dílčímu zvýšení traťové rychlosti tak, aby mohl být spolu s nasazením vozidel s lepší dynamikou dosažen modelový jízdní řád se systémovými cestovními dobami, k čemuž v případě této trati beze zbytku došlo.

U druhého traťového úseku (Praha-Smíchov – Beroun-Závodí) již parametry před investicí byly velkorysejší než na většině regionálních železničních tratí, a tak nedošlo ke změně vymezeného intervalu, byť

rekonstrukce nepopíratelně přinesla dílčí zvýšení traťové rychlosti a zvýšení kapacity trati. Je však otázkou, zda dosažení vyšší rychlosti by bylo účelné i s ohledem na skutečnost, že tato investiční akce často byla odůvodňována tím, že v případě rekonstrukce trati Praha – Beroun podél Berounky na ni budou odkláněny rychlíky linky R16 Praha – Plzeň. Pro tento účel by byla efektivní i elektrizace trati, ke které zatím nedošlo. Je však skutečností, že linka R16 přes tuto trať zatím odkláněna není, naopak jsou tudy vedeny rychlíky linky R26 Praha – Písek – České Budějovice v motorové trakci v neúplném intervalu 120 minut.

Z pohledu zabezpečovacího zařízení došlo ke zlepšení situace prakticky ve všech případech. Před provedením investiční akce vykazovaly vybrané tratě významnou nesourodost systémů traťových zabezpečovacích zařízení. Mezi tyto případy patřila trať České Budějovice – Volary, na níž se nacházely následující typy traťového zabezpečovacího zařízení: v úseku České Budějovice – Boršov nad Vltavou automatické hradlo, v úsecích Boršov nad Vltavou – Křemže a Zlatá Koruna – Kájov telefonické dorozumívání, v úseku Křemže – Zlatá Koruna reléový poloautoblok a v úseku Kájov – Volary řízení dle předpisu SŽDC D3. Podobná nesourodost byla patrná i v případě sledovaného úseku trati č.081: úsek Benešov n. Ploučnicí – Česká Kamenice telefonické dorozumívání, úseky Česká Kamenice – Mlýny a Jedlová – Rybniště hradlový poloautoblok, úseky Mlýny – Jedlová a Rybniště – Rumburk reléový poloautoblok. V obou případech byly nesourodé systémy nahrazeny automatickým hradlem, které je zároveň nejčtetnějším systémem traťového zabezpečovacího zařízení funkčním po dokončení investice u sledovaných tratí. V případě trati Hrušovany u Brna – Židlochovice je sledováno dosazení systémů ETCS (evropský zabezpečovací systém – druh systému ATP) a AVV (český systém automatického vedení vlaku – druh systému ATO) s ohledem na velmi úzkou vazbu na páteřní síť TEN-T (trať Brno – Břeclav).

#### **4. Dosažení požadovaných cílů**

Přirozenou otázkou, kterou je samozřejmé pokládat si po realizaci jakékoli investiční akce, je splnění požadovaných cílů. Analýza vybraných deseti traťových úseků však ukázala, že kromě základních cílů zvýšení stability jízdního řádu, zvýšení propustnosti a bezpečnosti trati je dosažení ostatních cílů zcela individuální. Proto jsou dále vybrané případy rozebrány jednotlivě nebo po logických skupinách tam, kde lze podobnosti nalézt.

Zřejmě nejvíce diskutabilním případem je trať č. 194 v úseku České Budějovice – Volary. Na ní došlo k dílčímu zlepšení traťových parametrů, dosažení výše zmíněných základních cílů investičních akcí, nicméně dopravní model vlaků osobní dopravy nedoznal výrazných změn.



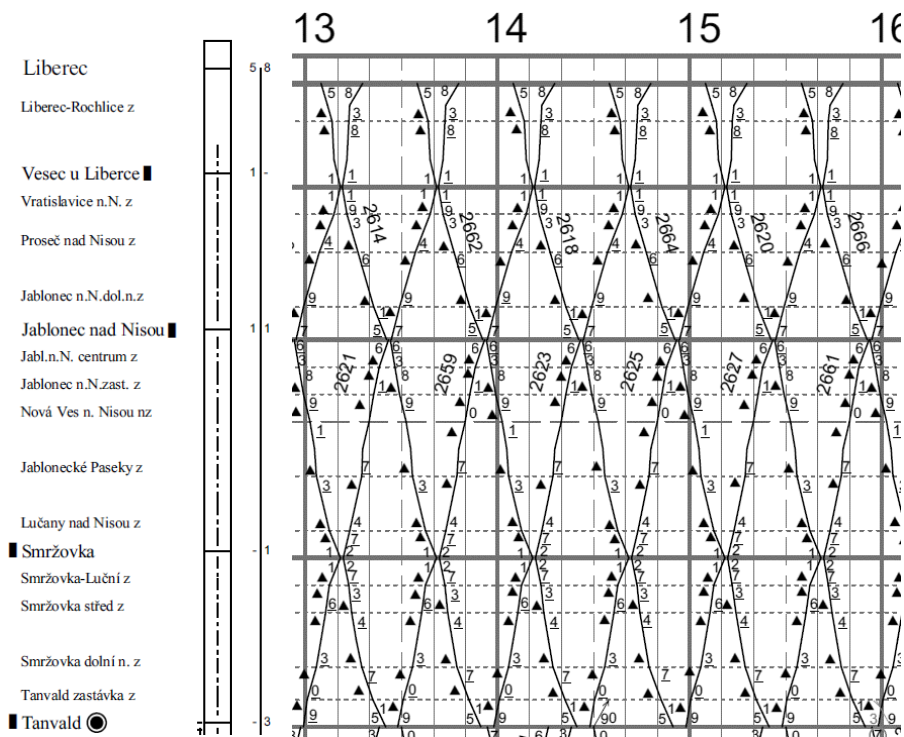
V jízdním řádu lze nalézt dokonce vlaky s delšími cestovními dobami než před rekonstrukčními pracemi a zcela diskutabilní je navíc odjezd turisticky nejexponovanějšího vlaku před 8. hodinou ranní z Českých Budějovic, kdy tento vlak nenavazuje na přípojnou skupinu v 8 hodin ráno.

Podobné parametry vykazují investiční akce na tratích č. 036 Tanvald – Liberec a č. 175 v úseku Rokycany – Příkosice. V obou případech se jedná o nadprůměrně vytížené tratě regionálního významu. U první tratě díky investici došlo k možnosti vytvořit interval vlaků 30 minut místo atypického intervalu 40 minut. V druhém případě lze díky revitalizaci tratě nyní též využít interval 30 minut, i když na rozdíl od trati č. 036 je s ním počítáno spíše výhledově; a také došlo ke zvýšení stability přípojných vazeb v železniční stanici Rokycany, v níž se dříve konstrukci tratě č. 175 musela dokonce konstrukce tras rychlíků/expresů linky R6 Praha – Plzeň – Cheb/Domažlice/Klatovy (ještě před zavedením dvousegmentové obsluhy v úseku Praha – Plzeň) mírně podřizovat tak, aby byly dodrženy minimální přestupní doby. Obě tyto tratě spojuje však jeden problém, který ilustruje výřez aktuálního nákrešného jízdního řádu na Obrázku 1 (na následující straně).

Tímto problémem je vysoký stupeň obsazení v dobách přepravních špiček, kdy neexistují záložní dopravní pro křižování. Kapacita trati je v poměrně dlouhých časových obdobích využita tak, že nejde na trati zkonstruovat další smysluplné trasy, a to ani pro vlaky nákladní dopravy, ani pro žádný další vlak osobní dopravy. Tento stav pak i velmi těžší umožňuje krátká zpoždění.

Naopak existují trati, kde byla aktivována nová místa pro křižování vlaků. V případě trati č. 081 (Benešov nad Ploučnicí – Rumburk) se jedná o železniční stanici Markvartice, do níž bylo dokonce umístěno systémové křižování osobních vlaků. Tím bylo dosaženo lepších přípojných vazeb v železničním uzlu Děčín, na druhé straně však došlo ke zhoršení dříve fungujících přípojných vazeb v železničním uzlu Rumburk. Na trati č. 238 ve sledovaném traťovém úseku Pardubice-Rosice n. L. – Ždírec nad Doubravou pak byla aktivována nová výhybna Cejřov. Zde došlo především ke zkrácení cestovních dob a zvýšení stability grafikonu vlakové dopravy.

V případě trati č. 142 Karlovy Vary dolní nádraží – Johannegeorgenstadt je hmatatelným přínosem zkrácení jízdní dob o cca 10 minut. Nedošlo však k významné změně dopravní koncepce po realizaci investiční akce, což se však na trati přímo nabízí a je spíše problémem na straně regionálního objednatele železniční dopravy.



Obr. 1: Špičkový GVD na trati 036 v úseku Liberec – Tanvald  
(zdroj: SŽDC)

U trati č. 173 v úseku Praha-Smíchov – Beroun-Závodí došlo zejména k odstranění dílčích propadů traťové rychlosti a zvýšení kapacity trati. I na této trati byla vybudována nová výhybna, kterou se stalo Prokopské údolí na místě bývalé železniční zastávky a dříve i stanice Praha-Hlubočepy. To je ukázkou situace, že často se obnovuje to, co dříve vybudovali naši předkové a co bylo poté pro údajnou bezúčelnost zrušeno. V přepravních špičkách je na trati interval regionálních vlaků 30 minut, existují však záměry tento interval dále zkracovat. Pokud však dojde k tomuto zkrácení, je prakticky nemožné zajistit tímto úsekem odklonovou vozbu dálkových vlaků mezi Prahou a Berounem. Už nyní jezdí tímto úsekem dálkové vlaky linky R26 Praha – Písek – České Budějovice a oproti jízdě po trati č. 171 podél Berounky došlo k významnému prodloužení jejich jízdních dob, což je jednoznačně negativním vlivem i přes relativně okrajový význam této linky v zajišťování dopravních potřeb státu.

V případě celistvého úseku trati č. 291, tj. Zábřeh na Moravě – Šumperk – Kouty nad Desnou je přínosem zejména umožnění elektrické vozby, a to jednak dálkové dopravy v relaci Brno – Šumperk a regionální dopravy v relaci Nezamyslice – Olomouc – Šumperk – Kouty nad Desnou.

Vznikly tak nové linky dálkové a regionální železniční dopravy, které umožňují nová a logická spojení.

## 5. Závěr

Srovnání deseti železničních tratí jasně ukazuje, že investice přinesly zpravidla zlepšení, avšak u mnoha tratí pouze dílčí, přičemž některé učiněné kroky jsou diskutabilní. V některých případech pak nemuselo zcela dojít ke splnění vytyčených cílů. Dosažení optimálních traťových parametrů je však po provedení investiční akce přímo klíčové nejen pro kvalitní objednávku dopravy v závazku veřejné služby, ale rovněž pro provozování nákladní dopravy.

Při přípravě investičních akcí je přitom zásadní spolupráce SŽDC s jednotlivými objednateli dálkové a regionální dopravy v závazku veřejné služby (MD ČR a kraje), kdy při ekonomickém posuzování je klíčové do ní zahrnout veškeré přínosy, které je možné započítat (např. kratší intervaly, nové segmenty v obsluze území, vozidla s lepšími kvalitativními parametry apod.). Ze zkušeností členů řešitelského týmu je patrný u mnoha akcí nedostatek času při zpracování projekční přípravy, kdy často projektanti nemají čas řešit zevrubně více variant, které i často navrhují sami objednatelé. Jen tak však může dojít k nalezení nejlepších řešení. Pečlivé posouzení je přitom zásadní v posuzování efektivity či neefektivity jednotlivých řešení, potažmo celých železničních tratí jako celků.

I přes existující ucelené metodiky používané při přípravě staveb jsou dosažené cíle u jednotlivých posuzovaných případů rozdílné a stěží jde najít jednotící linii. Je tak jasné, že do míry investice velmi často vstupuje lidský faktor a ochota či neochota jednotlivé investice úplně realizovat. Je také zřejmé, že tratím mimo síť TEN-T bude vždy věnována nižší pozornost než páteřním tratím, nicméně zejména z poznatků a výsledků zdařilých investičních akcí by měly být stanoveny podmínky po budoucí investiční akce mimo síť TEN-T. Stejně tak se je nutné poučit z nedostatků či dokonce chyb, které při realizaci zmíněných investičních akcí nastaly.

## Literatura

- [1] SŽDC - Správa železniční dopravní cesty [online]. Praha: SŽDC, 2019 [cit. 2019-07-07]. Dostupné z: <https://www.szdc.cz/>
- [2] SŽDC: Pomůcky GVD z let 2010 – 2019

## Poděkování

*Příspěvek vznikl za podpory Studentské grantové soutěže ČVUT v Praze v rámci projektu č. SGS18/150/OHK2/2T/16 Technické parametry železniční dopravní cesty pro optimální provozní koncepci.*

# Statistika nehodovosti tramvajových vozidel

Ing. **Jakub Seidl**<sup>1</sup>, Ing. **Vojtěch Zelený**<sup>2</sup>

*Fakulta strojní ČVUT v Praze*

*Technická 4, 160 00, Praha 6 - Dejvice*

e-mail\_1: jakub.seidl@fs.cvut.cz,

e-mail\_2: vojtech.zeleny@fs.cvut.cz

## Abstrakt

Příspěvek se zabývá vytvořením statistiky nehodovosti tramvají za období 2016 – 2018. Nehody byly zaznamenány dopravními podniky na území ČR. Jednotlivé nehody jsme rozdělili do podskupin podle kolizního vozidla (tramvaj, osobní auto (OA), nákladní auto (NA), autobus, motocykl, kolo a chodec). Dále se v článku podrobněji zabýváme vyhodnocením statistiky srážek tramvaje s chodci, jednostopými vozidly a OA. Z výsledků statistiky nehodovosti jsme stanovili kolizní směry srážek s největší četností zranění.

## Klíčová slova

Tramvaje, statistika nehodovosti, kolizní směr.

## Accidents statistic of tram vehicles

### Abstract

The paper describes creation accident statistics of tram vehicles for the period 2016 - 2018. Accidents were recorded by transport companies in the Czech Republic. We divided the accidents into subgroups according to the collision vehicles (tram, passenger car (OA), truck (NA), bus, motorcycle, bicycle and pedestrian). Furthermore, the article deals with the evaluation of tram collision statistics of pedestrian, two-wheelers and OA. From the results of accident statistics, we determined the collision directions with the highest frequency of injuries.

### Keywords

Tram, accident statistics, direction of accident.

## 1. Úvod

Moderní tramvajová doprava poskytuje přijatelnou rychlost přepravy, nižší energetickou náročnost a velkou přepravní kapacitu, a proto patří k základním pilířům městské hromadné dopravy každého moderního města s vyšším počtem obyvatel. Tramvaje bývají využívány k rychlé přepravě obyvatel vzdálenějších městských částí do center měst. Vzhledem k historické zástavbě není možné vést v centru měst tramvajové trati na samostatném tělese. Proto musí být vedeny v městských ulicích v těsné blízkosti ostatních účastníků silničního provozu (osobních a nákladních automobilů, autobusů a chodců). Z důvodu potřeby změny směru jízdy dochází ke křížení tramvajových kolejí s jízdními pruhy účastníků provozu a tím zvýšení rizika srážek mezi vozidly. [1], [3], [4]

Ze společenského hlediska rostou požadavky na zajištění bezpečnosti přepravovaných cestujících i ostatních účastníků provozu při srážce vozidel. Z tohoto důvodu se v článku zabýváme vytvořením statistiky nehodovosti tramvajových vozidel na území ČR za roky 2016 až 2018 s ohledem na zranění účastníků nehody.

## 2. Statistika nehodovosti

Při sestavování statistiky nehodovosti tramvají jsme navázali spolupráci s dopravními podniky v ČR, které provozují tramvaje. Jmenovitě se jednalo o dopravní podniky měst Prahy, Brna, Plzně, Liberce a Jablonce n. Nisou, Mostu a Litvínova a Olomouce. Dopravní podniky nám poskytly data k nehodám za roky 2016 a 2018. Ke každé nehodě nám poskytly také informace o datu nehody, místu nehody, krátký slovní popis průběhu nehody a informaci o zranění či úmrtí účastníků nehody.

Zkratky dopravních podniků jsou uvedeny v **Tab. 1**

Tab. 1 Zkrácené označení dopravních podniků

Dopravní podnik města Brno, a.s.	DPMB
Dopravní podnik měst Liberec a Jablonec nad Nisou, a.s.	DPMLJ
Dopravní podnik měst Mostu a Litvínova, a.s.	DPMOST
Dopravní podnik města Olomouce, a.s.	DPMO
Plzeňské městské dopravní podniky a.s.	PMDP
Dopravní podnik hlavního města Prahy, a.s.	DPP

Během tohoto období bylo zaznamenáno 6283 nehod tramvají. Z takového množství nehod lze vytvořit statistiku srážek tramvají v městském provozu.

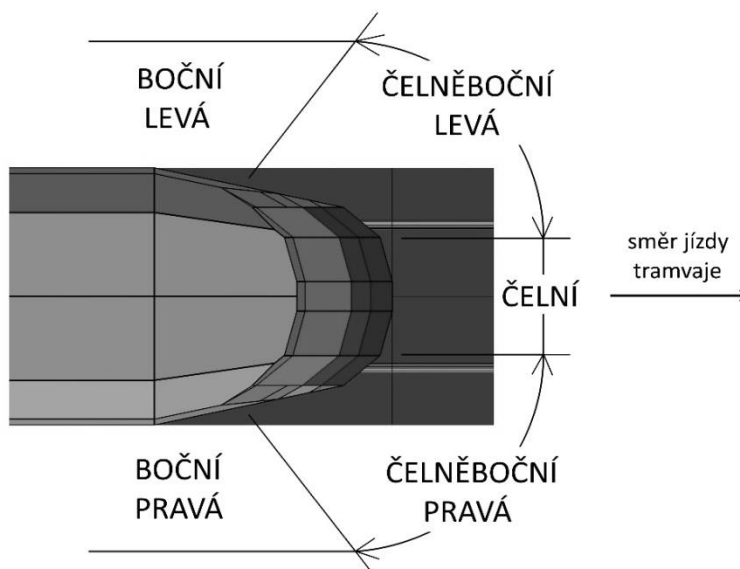
V **Tab. 2** uvádíme počet nehod tramvají v jednotlivých dopravních podnicích za zkoumané období.

Tab. 2 Počet nehod zaznamenaných za období 2016 - 2018

	DPMB	DPMLJ	DPMO	DPMOST	DPP	PMDP
2016	423	40	46	12	1294	97
2017	453	43	35	6	1566	98
2018	412	36	46	9	1547	120

Počet nehod zaznamenaných jednotlivými dopravními podniky nelze porovnávat mezi sebou. Celkový počet nehod je ovlivněn jak velikostí vozového parku dopravního podniku, tak i trasami jednotlivých linek. Jako příklad lze uvést rozdílnost počtu nehod za rok 2017 linek 21 (celkem 18 nehod) a 22 (celkem 124 nehod), které jsou provozovány DPP. Trasa linky 21 vede převážně po samostatném drážním tělese, zatímco trasa linky 22 vede přes centrum města, kde dochází k častému křížení tramvajové a silniční trasy.

Jednotlivé nehody jsme rozdělili do skupin podle typu kolizního vozidla (tramvaj, osobní auto (OA), nákladní auto (NA), autobus, motocykl, kolo a chodec [2]. Dále jsme provedli rozdělení nehod podle kolizních směrů vzhledem ke směru jízdy tramvaje viz. **Obr. 2**.



Obr. 2 Definice kolizních směrů

Výsledky statistiky nehodovosti jsou shrnuty v **Tab. 3**

V následujících kapitolách se budeme zabývat vyhodnocením statistik

Tab. 3 Celkový počet nehod

Celkový počet nehod			Kolizní vozidlo						
			OA	Tramvaj	NA	Chodec	Autobus	Kolo	Motocykl
Kolizní směr	Čelní	-	782	106	93	80	8	6	4
	Čelněboční	pravá	1668	1	256	149	17	3	6
		levá	334	6	49	51	10	2	3
	Boční	pravá	1603	8	426	85	58	4	8
		levá	228	21	72	18	44	2	1
	Zezadu	-	26	33	2	2	5	0	3

nehodovosti dvou skupin kolizních vozidel. První skupina jsou chodci a jednostopá vozidla (kolo, motocykl) a druhá skupina jsou osobní automobily. Tyto výsledky jsou pro nás vstupem do dalšího řešení dílčích úkolů výzkumného grantu SGS 19/161/OHK2/3T/12.

## 2.1. Statistika srážek chodců a jednostopých vozidel

V následujících tabulkách jsme stanovili, v kolika procentech nehod z daného typu nehody došlo ke zranění či úmrtí druhého účastníka. Dále jsme vyčíslili počet nehod, které byly způsobeny druhým účastníkem. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**]

Tab. 4 Podrobná statistika srážky chodce s tramvají

Kolizní směr	celkový počet nehod	počet zranění	počet zranění (%)	počet úmrtí	počet úmrtí (%)	počet zaviněných nehod	počet zaviněných nehod (%)
Čelní	80	64	80	8	10	80	100
Čelněboční	200	147	74	6	3	199	99,5
Boční	103	82	80	0	0	103	100
Zezadu	2	2	100	0	0	2	100

Výsledky jsou uvedeny v **Tab. 4**, **Tab. 5** a **Tab. 6**.

Z celkového počtu srážek tramvaje s chodci za zkoumané období (385 nehod) v 77 % dochází ke zranění a v 14 % dochází k úmrtí člověka. Přitom 99.9 % nehod jsou způsobeny chodci.

Na Obr. 3 jsou vidět následky po nehodě dvou chodců s tramvají ze dne 15.5. 2018. Tato nehoda byla pro oba chodce smrtelná.



Obr. 3 Následky srážky tramvaje s chodci, Zdroj: Vozovna DPP

Tab. 5 Podrobná statistika srážky cyklisty s tramvají

Kolizní směr	celkový počet nehod	počet zranění	počet zranění (%)	počet úmrtí	počet úmrtí (%)	počet zaviněných nehod	počet zaviněných nehod (%)
Čelní	6	2	33	0	0	6	100
Čelněboční	5	1	20	0	0	4	80
Boční	6	1	17	0	0	6	100
Zezadu	0	0	0	0	0	0	0

V případě srážky tramvaje s cyklistou (17 nehod) dochází ke zranění cyklisty ve 24 % srážek. Ve zkoumaném období nedošlo k žádnému úmrtí cyklisty vlivem srážky s tramvají. Vinu za srážku nesou cyklisti v 93 % případů.



Tab. 6 Podrobná statistika srážky motocyklu s tramvají

Kolizní směr	celkový počet nehod	počet zranění	počet zranění (%)	počet úmrtí	počet úmrtí (%)	počet zaviněných nehod	počet zaviněných nehod (%)
Čelní	4	2	50	0	0	4	100
Čelněboční	9	1	11	0	0	8	89
Boční	9	1	11	0	0	7	78
Zezadu	3	1	33	0	0	1	33

Při srážce motocyklu s tramvají (25 nehod) dochází ke zranění ve 20 % srážek. Ve zkoumaném období nedošlo k žádnému úmrtí řidiče motocyklu vlivem srážky s tramvají. Vinu za srážku nesou motocyklisti v 75 % případů.

## 2.2. Statistika srážek OA

V následující tabulce jsme stanovili, v kolika procentech nehod z daného typu nehody došlo ke zranění či úmrtí řidiče OA. Dále jsme vyčíslili počet nehod, které byly způsobeny řidičem OA. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Výsledky jsou

Tab. 7 Podrobná statistika srážky OA s tramvají

Kolizní směr	celkový počet nehod	počet zranění	počet zranění (%)	počet úmrtí	počet úmrtí (%)	počet zaviněných nehod	počet zaviněných nehod (%)
Čelní	782	99	13	0	0	714	91
Čelněboční	2002	100	5	0	0	1898	95
Boční	1831	8	0	0	0	1492	81
Zezadu	26	1	4	0	0	23	88

uvedeny v **Tab. 7**

Při srážce OA s tramvají (4641 nehod) dochází ke zranění řidiče OA ve 4 % srážek. Ve zkoumaném období nedošlo k žádnému úmrtí řidiče OA vlivem srážky s tramvají. Vinu za srážku nesou řidiči OA v 89 % případů.

Na Obr. 3 jsou vidět následky čelněboční srážky tramvaje s OA. Při srážce došlo k těžkému zranění řidiče OA.



Obr. 4 Následky čelní nehody tramvaje s osobním automobilem (OA)

Zdroj: Archiv DPMLJ

#### 4. Závěr

Sestavení statistiky nehodovosti tramvajových vozidel je pro nás dobrým východiskem pro další výzkum, který se zabývá zvýšením pasivní bezpečnosti tramvajové dopravy a je řešený v rámci grantu SGS19/161/OHK2/3T/12. Ze statistiky nehodovosti je možné určit kritické směry kolize vzhledem k vozidlu a riziková místa městské infrastruktury.

Ze statistiky jsme také určili, že při srážce tramvaje s chodcem nebo jednostopým vozidlem dochází k těžkým zraněním (55 %) a úmrtím (4 %) při čelním a čelněbočním střetu. Příčinou těchto nehod je nejčastěji náhlý vstup chodců na drážní těleso před přijíždějící tramvaj. Následkem boční srážky s projíždějícím vozidlem jsou nejčastěji lehká zranění, která jsou způsobena upadnutím chodce na bok projíždějící tramvaje.

V případě srážky tramvaje s OA nedochází k tak velkým počtům zranění a úmrtím, jako v případě srážky s chodci. Důvodem je větší ochrana v podobě konstrukce automobilu. I v případě automobilů jsou však nejméně příznivé čelní a čelněboční kolizní směry. Příčinou těchto nehod je nejčastěji nedání přednosti v jízdě tramvaji při přejíždění drážního tělesa.

Na závěr je také potřeba říci, že za roky 2016 až 2018 bylo celkem zaznamenáno 6283 nehod. Avšak pouze 15 % nehod z celkového počtu způsobili řidiči a řidičky tramvaj (z těchto nehod bylo více než 60% způsobeno neodhadnutím jízdního profilu tramvaje, při kterém nedochází ke zranění). Velkým problémem tedy zůstává chování společnosti jako takové, kdy se je výrobci snaží ochránit více, než si oni sami uvědomují.

## **Literatura**

- [1] Kolář, J.: Teoretické základy konstrukce kolejových vozidel, Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2009.
- [2] Kovanda, J.: Bezpečnostní aspekty návrhu dopravních prostředků. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, 2016. ISBN 978-80-01-05893-0.
- [3] Zelený, V.: Návrh modulární stavby čela nízkopodlažní tramvaje, Diplomová práce, Praha 2018
- [4] Seidl, J.: Deformační prvky kabiny nízkopodlažní tramvaje, Diplomová práce, Praha 2018

## **Poděkování**

*Tento příspěvek byl realizován s podporou studentské grantové soutěže projektu SGS19/161/OHK2/3T/12.*

# **Návrh převýšení koleje v obloucích malých poloměrů s ohledem na rozvoj skluzových vln**

**Ing. Jan Valehrach<sup>1</sup>**

*Fakulta stavební, VUT v Brně*

*Veveří 331/95, 602 00, Brno*

e-mail\_1: valehrach.j@fce.vutbr.cz

## **Abstrakt**

Příspěvek pojednává o vhodnosti návrhu rychlosti a odpovídajícího převýšení koleje v obloucích v záhlaví žst. Havlíčkův Brod.

## **Klíčová slova**

Rychlost, vlak, převýšení koleje, oblouk, simulace.

## **Design of track cant in curves of small radius regarding development of rail corrugation**

### **Abstract**

The paper deals with a proper design of the velocity and the corresponding track cant in curves an approach of the Havlíčkův Brod railway station.

### **Keywords**

Speed, train, track cant, curve, simulation.

## 1. Úvod

Proces návrhu dopravní infrastruktury zahrnuje sérii kroků a činností, které můžeme zjednodušeně rozdělit na ideový návrh, projekční návrh a výstavbu. Samotný proces od první ideje po jízdu prvního vlaku trvá několik let, neboť je potřeba vše řádně připravit – nebudujeme dočasné stavby, ale díla, která budou sloužit desítky, možná stovky let. V rámci ideového návrhu si klademe otázky a definujeme zadání stavby. V části stavební již realizujeme konkrétní stavbu dle vyprojektovaných hodnot a na desítky let zakonzervováváme navržený stav. Některé parametry lze sice do určité míry časem měnit (např. převýšení), ale jiné jsou většinou pevně dané (např. poloměr oblouku). Změna je zpravidla možná pouze za cenu vysokých nákladů, pokud vůbec.

Důležité je proto věnovat potřebný čas projekční fázi. Je velice složité navrhovat stavby tak, aby i po desítkách let odpovídaly požadavkům provozu a potřebám zákazníků (dopravcům, resp. cestujícím). Návrh vychází nejčastěji ze současných nebo v blízké době předpokládaných požadavků. Prognózovat, co bude potřebné za desítky let, je velice obtížné, takové výhledy jsou však nezbytné.

S výše uvedenými nejistotami začíná svoji práci projektant. Není důležité, zda se jedná o novostavbu, rekonstrukci či modernizaci. Vždy je potřeba s investorem učinit rozhodnutí, jaké konkrétní parametry daná stavba bude mít. Důležitými faktory při rozhodování by měly být také hospodárnost provozu a údržby a životnost staveb. Při opominutí těchto faktorů může docházet k dřívějšímu rozvoji vad konstrukcí (pro železniční svršek např. vlnkovitost, nerovnoměrné opotřebení kolejnicových pásů, kolejnicové vady, vady pražců nebo upevnění, zvyšování hlukové zátěže, přenosu vibrací do okolí apod.). Pro nápravu, která sama o sobě může být náročná finančně i časově, je pak nutné zavádět mnohdy nákladné výluky, které jsou cestující veřejností a dopravci chápány negativně a snižují v důsledku důvěru v železniční dopravu.

## 2. Parametry konstrukčního uspořádání koleje

Jedním z parametrů, která dle [1] má vliv na náklady na údržbu a na životnost konstrukce železničního svršku, je převýšení koleje, jež slouží ke snížení účinků odstředivé síly [2].

Norma [2] uvádí: *Převýšení „má dále zohledňovat hospodárnost údržby tak, aby opotřebení 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).“*

Výsledkem návrhu je tedy pro daný poloměr hodnota převýšení, kterou pro určitou kolej a charakter provozu na ní považuje projektant a správce za nejvhodnější.

V případě metra či uzavřených systémů s jedním druhem souprav je možné návrh převýšení přizpůsobit na míru konkrétní rychlosti, skladbě a hmotnosti souprav.

Na železničních tratích se rychlosti, skladba a hmotnost souprav, opotřebením dvojkolí (souhrnně provoz) v čase mění, avšak navržené převýšení je konstantní po dobu jednotek i desítek let, což může vést ke stavu, že parametry oblouku nemusí vyhovovat aktuálnímu stavu. I v případě optimálního návrhu budou obloukem projíždět rozdílné soupravy rozdílnými rychlostmi a tedy s rozdílnými nedostatky převýšení, resp. přebytky převýšení, které tedy budou mít rozdílný vliv na kolej.

### **3. Rozvoj vlnkovitosti v žst. Havlíčkův Brod**

#### **3.1. Popis dotčených kolejí**

Názorným příkladem kolejí jsou koleje s protisměrnými oblouky v záhlaví žel. stanice Havlíčkův Brod ve směru na Okrouhlici. Jedná se o dvojkolejný úsek charakteristický vlnkovitostí kolejnic prakticky všech vlnových pásem. Vlnkovitost není pouze na vnitřních kolejnicích, kdy by mohla být určena jako skluzové vlny, ale i na vnějších kolejnicích. Kromě snížení životnosti kolejnic se vlnkovitost projevuje i častým praskáním svěrek a především zvýšenou hlukovou zátěží a přenosem vibrací do okolí kolejí.

V historii byla provedena celá řada opatření pro nápravu tohoto stavu (broušení kolejnic, použití upevnění kolejnic E14 se zvýšenou elasticitou, výměna svěrek za odolnější, instalace podpražcových podložek). Vhodnější by ovšem bylo, předcházet rozvoji vad a jejich následnému odstraňování formou dalších investic.

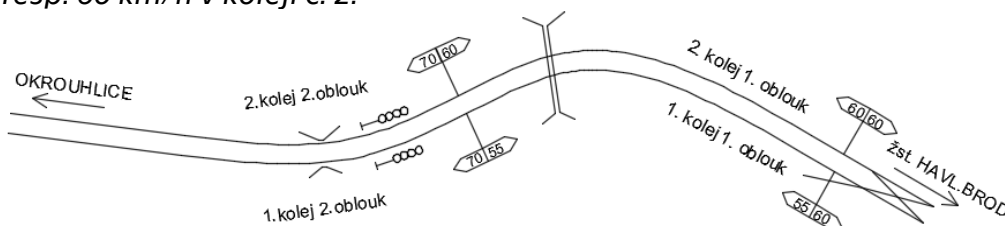
#### **3.2. Vlnovité deformace a přebytek převýšení**

Na úseku byla provedena měření vlnovitých deformací, rychlostí projíždějících souprav a dalších parametrů. Těmto vyhodnocením se věnuje např. [1] a [3]. V případě sledovaných oblouků lze pozorovat spojitost mezi rozvojem vlnovitých deformací a váženým přebytkem převýšení (pomocí hmotnosti souprav) a lze zjednodušeně konstatovat, že čím větší je v obloucích přebytek převýšení, tím více jsou rozvinuté vlnovité vady kolejnic.

## 4. Rychlost projíždějících vlaků ve sledovaném úseku

### 4.1. Popis sledovaného úseku

Literatura [3] popisuje úsek následovně: V prvním oblouku i před ním je traťová rychlost 60 km/h (v koleji č. 1 jen 55 km/h), ve druhém oblouku i v navazujícím úseku 70 km/h. Kolejové spojky ve stanici i předjízdny koleje jsou na 40 km/h. Rychlost vlaků je zde ovlivněna brzděním/rozjezdem ve stanici Havlíčkův Brod. Některé nákladní vlaky jedoucí od Kutné Hory zastavily na zhlaví tak, že konec vlaku stál v prvním oblouku. Tato zvláštní situace patří v H. Brodě k běžné praxi, usnadňuje předávání dokumentů na lokomotivu, která zastaví u služebního přechodu před výpravní budovou. Z tohoto důvodu je v tomto oblouku v koleji č. 1 menší převýšení i traťová rychlost. Téměř všechny vlaky zde jezdí s přebytkem převýšení, protože musí respektovat změnu traťové rychlosti mezi prvním a druhým obloukem. Zde se paradoxně negativně projevil vliv snížení rychlosti v následujícím oblouku v koleji č. 1 na 55 km/h, který naopak v prvním oblouku pomáhá. Navíc vlaky vjíždějící odbočkou jedou od vjezdového návěstidla rychlostí nejvýše 40 km/h. Navržené převýšení 139 mm je v tomto kontextu nesmyslně velké, odpovídá převýšení DN1 pro rychlost 75 km/h, přestože traťová rychlost je 70 km/h a reálně dosažitelná jen 55 km/h v koleji č. 1, resp. 60 km/h v koleji č. 2.



Obr. 1. Schéma řešených oblouků v záhlaví žst. Havlíčkův Brod

### 4.2. Převýšení koleje a rychlosti souprav

V tabulce č. 1 jsou uvedena převýšení v jednotlivých obloucích a rychlosti podle jízdy z/do hlavních a předjízdných kolejí dle Nákrešného přehledu. Následně byl vypočítán nedostatek převýšení  $I$  (kladná hodnota), resp. přebytek převýšení  $E$  (záporná hodnota) pro rychlosti dle rychlostníku, případně dle omezení ve stanici a převýšení.

Tab. 1. Parametry oblouků dle Nákrešného přehledu včetně nedostatku/přebytku převýšení.

	$R$	$D$	$V_{hl}$	$V_{př}$	$I/E_{hl}$	$I/E_{př}$
	[m]	[mm]	[km/h]	[km/h]	[mm]	[mm]
1. kolej 1. oblouk	250	43	55	40	99.8	32.5
	258	43	55	40	95.4	30.2
	330	43	55	40	65.2	14.2
1. kolej 2. oblouk	288	139	70	70	61.8	61.8
2. kolej 1. oblouk	520	82	60	40	-0.3	-45.7
	266	65	60	40	94.7	6.0
	330	65	60	40	63.7	-7.8
2. kolej 2. oblouk	284	139	70	70	64.6	64.6

Pokud do zjednodušené tabulky dosadíme skutečné převýšení v obloucích z měření konstrukčních parametrů koleje vozíkem KRAB, rychlosti souprav změřené v zájmových obloucích a zohledníme i hmotnosti souprav, dostaneme dle [5] vážené nedostatky, zde pouze přebytky, převýšení (viz také kap. 3.2).

Tab. 2. Parametry oblouků dle měření Krabem a nedostatky/přebytky převýšení. [4]

	$R$	$D_{krab}$	$I/E_{váž}$
	[m]	[mm]	[mm]
1. kolej 1. oblouk	258	43	-2
1. kolej 2. oblouk	288	43	-72
2. kolej 1. oblouk	266	83	-27
2. kolej 2. oblouk	284	65	-57

Jelikož při měření rychlostí nebylo zaznamenáno, z které koleje souprava odjížděla, příp. na kterou přijížděla, není možné spočítat ideální vážené hodnoty pro stav dle Nákrešného přehledu a porovnat přímo se skutečností. Lze ovšem předpokládat, že by se výsledná hodnota pohybovala v rozmezí  $I/E_{hl}$  a  $I/E_{př}$ . Vypočítané vážené hodnoty na základě reálně změřených dat jsou ovšem mimo toto rozmezí. Toto zjištění v kombinaci se získanými reálnými rychlostmi jasně dokazují, že soupravy v obloucích nedosahují rychlostí uvedených na rychlostnicích.

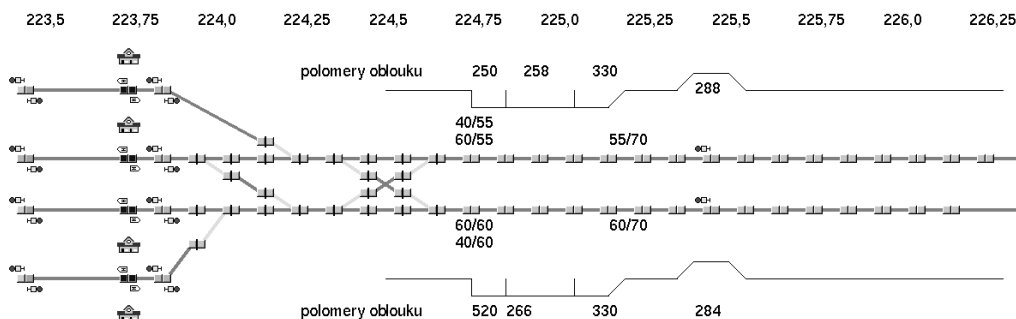
### 4.3. Simulace rychlosti jízdy vlaku

Vezmeme-li do úvahy hodnoty přebytků převýšení z tabulky č. 2, přesněji z druhých oblouků, o kterých víme, že jsou zde vlnovité vady



více rozvinuté než v prvních obloucích, nabízí se otázka: Je vyšší rychlost (70 km/h) v druhých obloucích nezbytná? Využijí soupravy tuto rychlost?

Pro zodpovězení těchto otázek byla provedena simulace jízdy vlaků v aplikaci OpenTrack. Byl vytvořen zjednodušený simulační model okrouhlického zhlaví, záhlaví stanice a část trati směrem na Okrouhlici podle Nákrešného přehledu a byl uvažován pouze pravostranný provoz. Traťová kolej do Humpolce, výtažná kolej a některé spojky nebyly modelovány, neboť pro simulaci v zájmových obloucích nejsou nezbytné. Naopak byly přidány některé další pomocné prvky (např. světelná návěstidla) umožňující požadované řízení provozu.

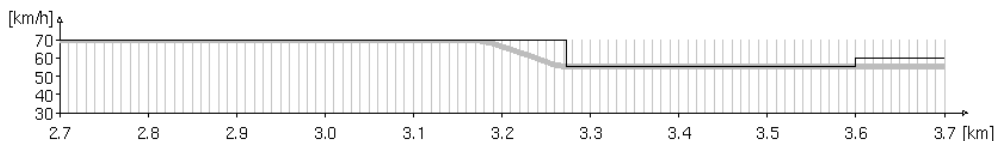


Obr. 2. Zjednodušený model zhlaví a záhlaví žst. Havlíčkův Brod v prostředí aplikace OpenTrack

Nutno však zdůraznit, že pro simulaci byly použity modernější, výkonnější a relativně lehčí soupravy, než jsou ve skutečnosti na daném úseku provozovány. Konkrétně byla použita osobní souprava ř. 640 a nákladní vlak s hnacím vozidlem ř. 230 a hmotností soupravy pouze 800 t.

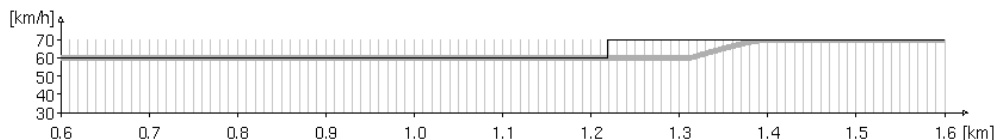
Výsledky těchto simulací jsou na obrázcích 3 až 8, kde tlustá šedá čára představuje průběh rychlosti a tenká černá čára rychlostní omezení.

Na obrázku č. 3 je výřez průběhu rychlosti soupravy ř. 640 při jízdě hlavní kolejí č. 1 z Okrouhlice do Havlíčkova Brodu. Brždění nastává po průjezdu cca 2/3 oblouku druhého oblouku, tedy oblouku s rychlostí 70 km/h.



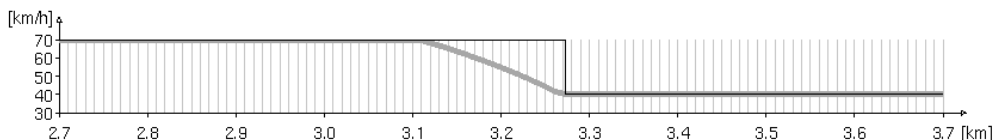
Obr. 3. Výřez průběhu rychlosti při jízdě osobní soupravy z Okrouhlice do Havlíčkova Brodu hlavní kolejí č. 1

Na obrázku č. 4 je tatáž souprava při jízdě do Okrouhlice a souprava dosahuje rychlosti 70 km/h cca 170 m za rychlostníkem, tedy přibližně v polovině druhého oblouku.



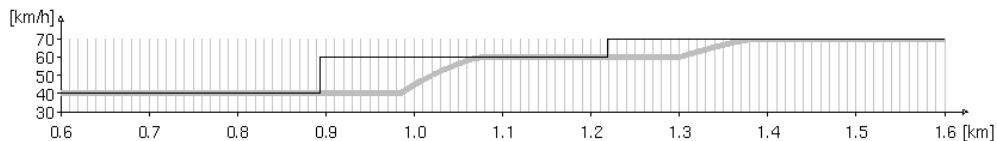
Obr. 4. Výřez průběhu rychlosti při jízdě osobní soupravy z Havlíčkova Brodu do Okrouhlice hlavní kolejí č. 2

Výraznější nevyužití rychlosti 70 km/h nastane, pokud souprava pojedje z/do předjízdných kolejí. Na obrázku č. 5 je vidět brzdění soupravy. Brzdění nastává po průjezdu již cca 1/3 oblouku.



Obr. 5. Výřez průběhu rychlosti při jízdě osobní soupravy z Okrouhlice do Havlíčkova Brodu na předjízdnu kolej č. 3

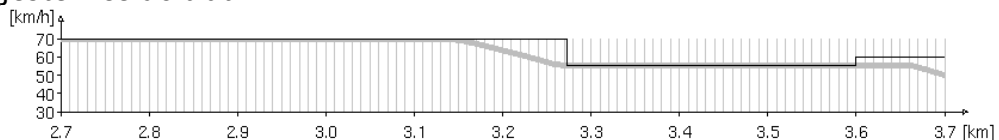
Na spodním řádku téhož obrázku jsou zaznamenána dvě zrychlení soupravy odpovídající dvěma rychlostníkům. Průběh rychlosti v druhém oblouku je shodný s obrázkem č. 4.



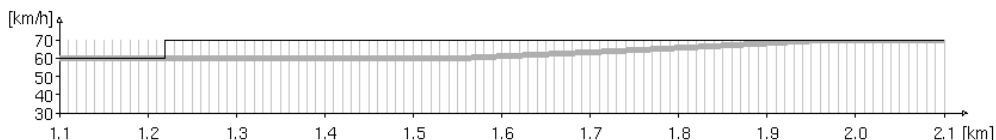
Obr. 6. Výřez průběhu rychlosti při jízdě osobní soupravy z Havlíčkova Brodu do Okrouhlice z předjízdny koleje č. 4

Z uvedených simulací vyplývá, že rychlost 70 km/h využijí alespoň z části soupravy jedoucí hlavními kolejemi a pro něž jsou oblouky navrženy.

Užijeme-li v simulaci nákladní vlak, výběhy rychlostí se dále prodlouží. Přestože byl na simulaci použit relativně lehký nákladní vlak, je především při jízdě ze stanice po hlavní koleji (obrázek č. 8) vidět dlouhý výběh a souprava dosahuje rychlosti 70 km/h daleko za druhým obloukem. Pojede-li nákladní vlak z předjízdny koleje, posune se výběh ještě více do trati.



Obr. 7. Výřez průběhu rychlosti při jízdě nákladního vlaku z Okrouhlice do Havlíčkova Brodu hlavní kolejí č. 1



Obr. 8. Výřez průběhu rychlosti při jízdě nákladního vlaku z Havlíčkova Brodu do Okrouhlice hlavní kolejí č. 2

Nedosažení největší dovolené rychlosti stávajícím vozovým parkem i technologická nekázeň (viz kap. 4.1), které byly pozorovány na úseku, způsobují ještě delší výběhy rychlostí. Totéž platí i pro moderní, avšak delší soupravy s větší hmotností.

#### 4. Závěr

Dosahnout optimálních parametrů oblouku, kdy návrh bude hospodárný z pohledu údržby a současně budou splněny požadavky dopravy na zkracování jízdní doby, je velice obtížné, neboť zvyšování rychlostí na železnici je v rámci konkurenceschopnosti jednotlivých druhů dopravy nezbytné.

Možným řešením pro prodloužení životnosti kolejí by ve sledovaných obloucích mohlo být snížení převýšení a s ním spojené nepopulární snížení rychlostí.

Cílem příspěvku však není návrh konkrétních převýšení oblouků a příslušných rychlostí, ale upozornění, že při návrhu je také důležité přihlídnout k místním podmínkám. Správce kolejí by měl zvážit, zda vyšší rychlostí a kratší jízdní doba, které vyžadují dopravci, přinášejí dostatečně velký společenský bonus, jenž je v důsledku vykoupen následnými zvýšenými nároky na údržbu, provázené výlukami dotčených kolejí.

**Literatura**

- [1] 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.
- [2] ČSN 736330-1 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 1: Projektování. 2008.
- [3] ŠMÍD, J. Přebytek převýšení – sledování traťových úseků. In Juniorstav 2016. Brno: VUT v Brně, 2016. s. 1-8. ISBN: 978-80-214-5311- 1.
- [4] VALEHRACH, J.; PLÁŠEK, O. Vlnovitost kolejnic. In Kvalita staveb a oprav tratí železniční dopravní cesty. Děčín: Vyšší odborná škol a Střední průmyslová škola strojní, stavební, a dopravní, Děčín, příspěvková organizace, 2019. s. 40-46. ISBN: 978-80-905733-6-9.
- [5] VALEHRACH, J.; ŘÍHA, T.; DUŠEK, E. Cant Excess and Cant Deficiency Evaluation in Relation to Train Speeds. In Modernization of the Railways - IRICoN 2017. Prague: Czech Technical University in Prague, 2017. s. 39-40. ISBN: 978-80-01-06140- 4.

**Poděkování**

*Prezentované výsledky byly získány za podpory projektu č. TE01020168 – CESTI a Správy železniční dopravní cesty, státní organizace.*



# Akustická kamera a hluk z tramvajové dopravy

Bc. Jan Vedral

Fakulta stavební ČVUT v Praze  
Thákurova 7/2077, 166 29, Praha 6 - Dejvice  
e-mail\_1: jan.vedral@fsv.cvut.cz

## Abstrakt

Článek popisuje základní princip akustické kamery a příklad použití v praxi, včetně vyhodnocení záznamu. Základem pro měření je mikrofonní pole, které snímá zvuk a kamera která snímá obraz. Tento záznam je následně zpracován algoritmy pro lokalizaci zdroje zvuku v čase. V tomto článku jsou prezentovány ukázky měření hluku při průjezdu dvou typů tramvají v síti DP hl. města Prahy.

## Klíčová slova

Akustická kamera, akustické měření, lokalizace hluku, cae noise, akustický beamforming

## Acoustic camera measurement

### Abstract

This text describes how an acoustic camera works and an example of use in practice. It is based on a microphone set recordings sound and a camera captures the image. This record is then processed by algorithms to locate the audio source in time line.

### Keywords

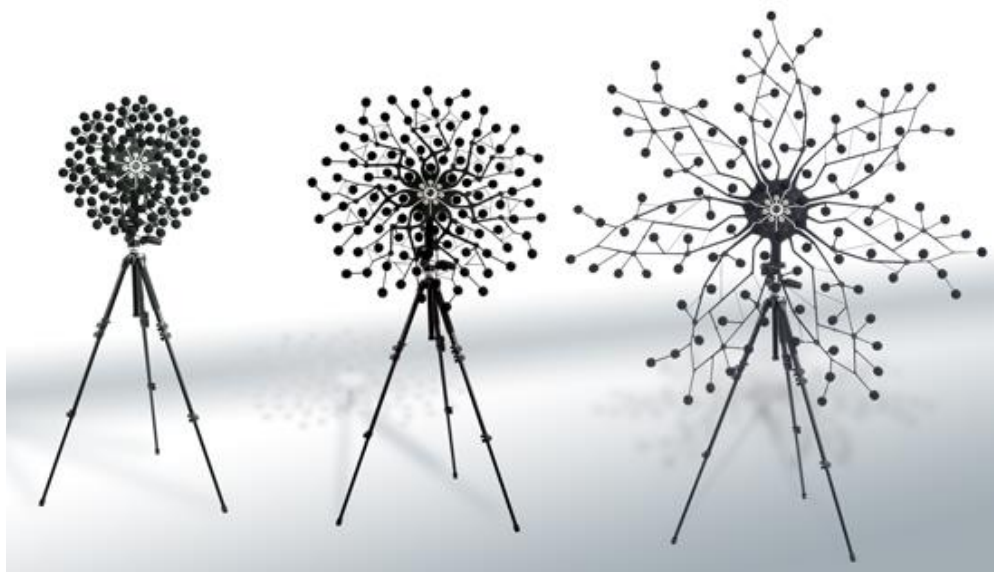
Acoustic camera measurement, noise localization, cae noise, acoustic beamforming

## 1. Úvod

Cílem tohoto článku je základní představení akustické kamery a ukázka měření včetně analýzy naměřených dat pořízených při průjezdu tramvají Tatra T3SU a Škoda 15T.

## 2. Akustická kamera

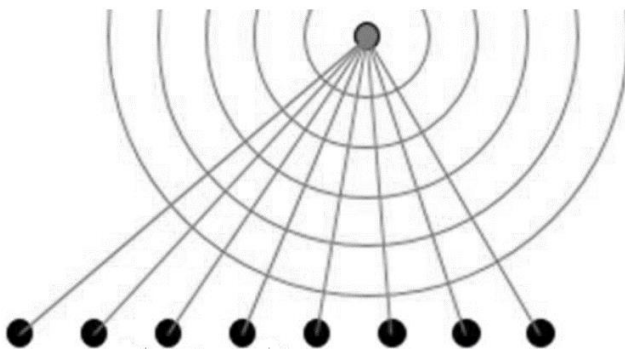
Akustická kamera, je zařízení složené z mikrofonní antény (tzv. mikrofonního pole) a videokamery. Kamera je napojena na počítač s příslušným programem na záznam a vyhodnocování dat. Program pomocí kamery lokalizuje místo zdroje hluku a analyzuje jeho parametry. Výstupem systému se stává akustická mapa, obdobná svým provedením záznamům teploty pořízených termo kamerou. Na této mapě odpovídá barevná posloupnost izofon od červené přes žlutou a zelenou k fialové úrovni hluku od nejvyššího k nejnižšímu.



Obr. 1. Příklady uspořádání mikrofonů v akustické kameře

Mikrofonní pole sestává z velkého počtu mikrofonů, v současné době nejčastěji od 36 do 120, které jsou různě uspořádané v prostoru, viz obr. č. 1. Ve středu tohoto mikrofonního pole umístěná videokamera s vysokým rozlišením opticky zaznamenává scénu, díky níž lze pak do záznamu promítnout výsledek akustického výpočtu, tedy výše zmíněnou akustickou mapu. Na základě počtu mikrofonů a jejich umístění je dán

frekvenční rozsah měření akustické kamery. Pokud je menší počet mikrofonů umístěných blíže u sebe je použití akustické kamery vhodné pro střední a vyšší frekvence. Taková kamera je vhodná pro měření z menší vzdálenosti například při lokalizaci hluku u motoru aut. Naopak čím vyšší je počet mikrofonů a celkové rozpětí mikrofonního pole, tím lépe dokáže lokalizovat střední až nižší frekvence. V takovém případě akustická kamera může být vzdálená od zdroje hluku několik m a více. Teorii lokalizaci hluku vidíme na obr. č. 2. Lokalizace je založena na analýze doby za kterou zvuk dorazí od zdroje (jedna tečka nahoře) k jednotlivým mikrofonům (tečky v řadě).



Obr. 2. Teorie lokalizace hluku

Dále je součástí měřicí jednotky převodník, který „sbírá“ signály z jednotlivých mikrofonů a převádí je do formátu, s nímž posléze pracuje počítač, resp. software. Používá se řada různých výpočtových algoritmů vhodných pro různé účely měření a nasazení akustické kamery v terénu. [1]

### 3. Akustické měření v terénu

Cílem měření bylo změřit průjezd dvou různých tramvajových vozů. Dále na voze, typu T3SU, detailněji pomocí různých výpočtových algoritmů identifikovat zdroj hluku. Vstupními daty pro tuto práci je měření dvou tramvajů v okamžiku průjezdu po trati. Jedná se o vozy Tatra T3SU a Škoda 15T.

#### 3.1. Měřicí sestava

Sestava se skládá z akustické kamery, záložního zdroje a počítače. Akustická kamera typu Bionic L-112 Array má 7 ramen se 16 mikrofony, které dohromady tvoří různici mikrofonní soustavy o průměru 1,7 m o 112 mikrofonech s frekvenčním rozsahem záznamu 10 Hz – 24 kHz (na obr. 1 vpravo). Uprostřed mikrofonního pole je umístěná optická kamera, která



snímá a zaznamenává měřený obraz v čase. Měřená akustická data lze rovnou graficky prezentovat. Data se rovněž ukládají pro pozdější podrobnou offline analýzu v počítači. Byly nahrány vzorky o délce zhruba 10 vteřin.

Dále bylo použito zařízení na měření rychlosti soupravy, rychlost větru a laser pro měření vzdálenosti. Toto je potřeba zadat do programu před vlastní analýzou.



Obr. 3. Měření tramvaje Tatra T3SU

### 3.1. Místo měření

Akustické měření bylo provedeno 30. 3. 2019 mezi zastávkami Nový Hloubětín a Vozovna Hloubětín na trati bez rušivého pozadí. Měření bylo prováděno 2,9 m od vnější kolejnice (T3SU). Další měření proběhlo přímo ve vozovně Hloubětín ve vzdálenosti 1,0 m od osy krajní kolejnice (15T). Referenční tramvaje s kolem o správné geometrii opakovaně přejížděly před kamerou po referenční trati po obnově v roce 2018. Rychlost vozu byla mezi zastávkami 50 km/h, ve vozovně 15 km/h. Během měření byla průběžně zaznamenávána teplota, která se pohybovala od 8 do 14 °C. Bylo skoro jasno až polojasno, bezvětří. Pro každý přejezd byl akustickou kamerou nahrán záznam. Obr. č. 3.

## 4. Postprocessing

Pro analýzu byl použit software s názvem „CAE Noise Inspector 6“, který je určen pro použití s kamerou od stejného výrobce. V rámci této práce byl vybrán jeden záznam průjezdu T3SU a jeden 15T, který byl podroben analýze v daném softwaru. [2]

Naměřený záznam, uložený během práce v terénu, byl nahrán do programu, kde se nám graficky zobrazí průběh průjezdu tramvaje.

Tento grafický výstup nám přinese první informaci o zvuku. Vidíme zde veškeré informace. Frekvence v závislosti na čase, akustický tlak v závislosti na čase, dále amplitudy v závislosti na frekvenci. Akustická energie je zobrazena pomocí barevné stupnice, kde červená znamená největší hladinu akustického tlaku.

### 4.1. Analýza dat

Analýza se skládá z několika kroků. Nejprve je potřeba vybrat časový úsek, dále zvolit frekvenční rozsah a algoritmus, resp. druh výpočtu. [3] Poté program lokalizuje zdroj zvuku.

#### **Výběr časového úseku:**

Časový úsek je vhodné vybírat co nejkratší, protože čím delší časový úsek, tím delší čas trvá výpočet. Zároveň je ale potřeba, aby byl vzorek vypovídající. Byl zvolen časový úsek o délce jedné vteřiny. Tento úsek odpovídá průjezdu vozu před kamerou.

#### **Výběr frekvenčního rozsahu:**

K výběru frekvenčního rozsahu je potřeba přistupovat stejně jako k časovému rozsahu, tedy vybrat minimální potřebný úsek. V tomto případě hledáme zdroj největšího hluku, proto vybíráme úsek s největším akustickým tlakem.

Vzorokly měření obou tramvají byly rozděleny na úseky po 1000 Hz v rozmezí pro člověka slyšitelném spektru. Takto rozdělená nahrávka do úseků je připravena pro výpočet.

#### **Výpočet v program Noise Inspector:**

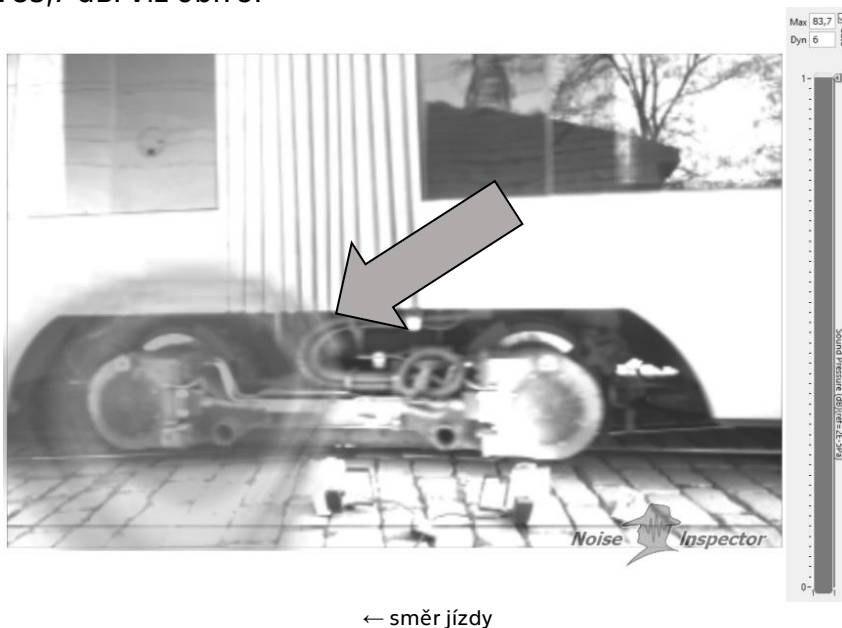
Následně necháme program spočítat pomocí základního algoritmu „Beamforming Delay & Sum“ tyto úseky. Výstupem z programu je akustická mapa a informace o akustickém tlaku.

Když vyhodnotíme grafické výstupy jednotlivých úseků u obou tramvají, zjistíme, že největší akustický tlak je v rozsahu 500 – 1500 Hz a to 84,3 dB u tramvaje T3SU, což může částečně odpovídat i vyšší rychlosti tramvaje. Viz obr. 4.



Obr. 4. Akustická mapa, měření vozu Tatra T3SU

U průjezdu tramvaje 15T je nejvyšší akustický tlak v rozsahu 500 – 1500 Hz 83,7 dB. Viz obr. 5.



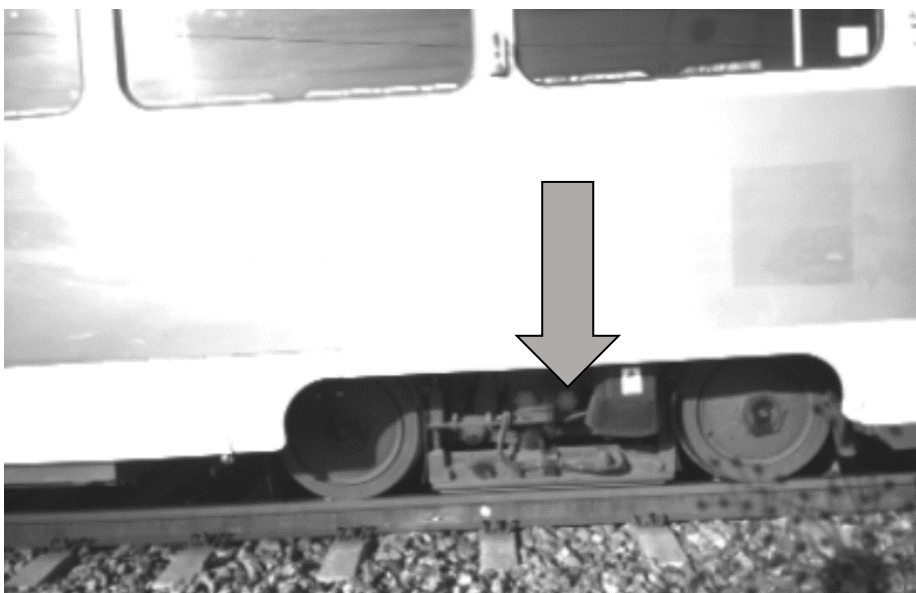
Obr. 5. Akustická mapa, měření vozu Škoda 15T

#### 4.2. Lokalizace hluku

Pro další analýzu vybíráme tramvaj T3SU, přichází na řadu výpočet pomocí dalších algoritmů. Cílem je potvrzení zdroje hluku a přesnější lokalizace, protože pomocí základního algoritmu ještě nejsme schopni určit přesný zdroj hluku. Viz obr. č. 4.

Pro další výpočty zvolím algoritmy „MUSIC Multiple Signal Classification“, „EVOB Optimized Beamforming“, a „ORTHOAGONAL Beamforming“. Tyto algoritmy zvolíme proto, že se na základě dřívějších měření ukázaly jako vhodné pro tento typ zdroje hluku, tedy pohybující se vozidlo vzdálené v řádech metrů od akustické kamery.

Jakmile program analyzuje vzorek pomocí těchto algoritmů, přistoupíme k vyhodnocení akustických map. Na obr. č. 6 vidíme, že jako nejvhodnější se jeví výpočet pomocí algoritmu „Orthogonal Beamforming“. Na akustické mapě můžeme celkem přesně nalézt zdroj hluku na podvozku vozu.



Obr. 6. Výstup výpočtu „Orthogonal Beamforming“

## 5. Závěr

V našem případě vidíme, že větší hluk způsobuje tramvaj Tatra T3SU a zdroj hluku je způsoben konstrukčním systémem na podvozku, a nikoliv na kontaktu kola a kolejnice. Vyšší hluk může být částečně způsobem jak vyšší rychlostí při průjezdu tak i jiným konstrukčním řešením podvozku tramvaje oproti 15T. V další fázi postprocessingu jsme dokázali lokalizovat největší zdroj hluku na tomto podvozku.

Na základě výše uvedených měření a vyhodnocení můžeme konstatovat, že při vhodně zvoleném frekvenčním rozsahu a algoritmu je zvuková mapa prokazatelně jasná a můžeme spolehlivě najít zdroj hluku.

Zároveň je potřeba si uvědomit, že šlo o referenční trať po obnově a tramvaj s optimální geometrií kola.

Při měření byl rovněž zjištěn hluk na kontaktu koleje a kola, nicméně s menším akustickým tlakem. V běžném provozu, kde trať a kolo nemá optimální tvar, může být tento hluk větší.

## Literatura

- [1] kaistale.com, Noisless Acoustics, Sitratie 7, 00420 Helsinki Finland
- [2] Zdroj cae-systems.de, CAE Software und Systems GmbH, Linteler Straße 23, 33334 Gütersloh Germany
- [3] Environmental noise, Bruel & Kjaer 2001
- [4] Greif-akustika, s.r.o., Základy akustiky 2013
- [5] Jan Vedral, Měření akustickou kamerou, SVOČ, 2019

## Poděkování

*Publikované výsledky byly dosaženy s podporou projektu Studentské grantové soutěže ČVUT v Praze (OHK1-028/19). Analýza akusticky problematických míst při průjezdu tramvajových souprav přes kolejové konstrukce.*

# Problematika upevňování podkladnice k úložné ploše příčného pražce

Bc. **Josef Vlček**<sup>1</sup>, Ing. **Vít Lojda**<sup>2</sup>

*Fakulta stavební ČVUT v Praze*

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

e-mail\_1: josef.vlcek@fsv.cvut.cz,

e-mail\_2: vit.lojda@fsv.cvut.cz

## Abstrakt

V klasické konstrukci koleje se kromě přímého upevnění kolejnicového pásu k úložné ploše pražce využívá i nepřímé upevnění, jehož prvkem jsou podkladnice. Použití podkladnice je typické pro pražce z impregnovaného dřeva a původní typy pražců z předepnutého betonu, ve kterých se užívá podkladnice. Parametrem pro utahování vrtule, na kterém závisí zmiňovaná síla, jejíž pozorování je cílem tohoto příspěvku, je torzní moment. Pokud je torzní moment příliš malý, v trati může dojít k pohybu podkladnice a pokud je příliš velký, dojde k poškození materiálu pražce v okolí vrtule. Pro síť tratí SŽDC jsou podmínky instalace vrtule a torzní, takzvaný utahovací moment, předepsány předpisem SŽDC S3 [1] a SŽDC SR103/3 (S) [2]. Utahovací moment pro instalaci vrtule je v závislosti na materiálu pražce předepsán v dřevěném pražci intervalem 280 až 350 N·m a v betonovém pražci s hmoždinkami intervalem 180 až 220 N·m.

Tento příspěvek je v rámci nestandardizované laboratorní zkoušky zaměřen na měření síly po dotažení vrtule, která je vyvozena na horní povrch podkladnice uložené na pražci. Pro potřeby provedení zkoušky byla podkladnice nahrazena specifickým ocelovým svařencem, který umožňuje instalaci siloměru a tím záznam požadované síly. Zkouška byla provedena na zkušebních tělesech z impregnovaného dřeva a předpjatého betonu. Na základě zpracovaných dat byl vytvořen závěr o síle, kterou je podkladnice přitlačena k pražci v čase. Ze záznamu bylo možno pozorovat dopružování materiálu zkušebních těles, které se projevilo tak, že po dotažení vrtule došlo k pozvolné deformaci materiálu zkušebního tělesa a tím došlo k dlouhodobému snížení měřené síly až na ustálenou hodnotu.

## Klíčová slova

Železniční pražec, podkladnice, utahovací moment, vrtule

## **Problem of the baseplate instalation to a sleeper**

### **Abstract**

In the classical rail construction, in addition to the direct fastening of the rail strip to the sleeper bearing surface, an indirect fastening, whose elements are the base plates, is used. The use of the base is typical for sleepers made of impregnated wood and the original types of sleepers made of pre-stressed concrete in which the base is used. The parameter for the screw spike tightening on which the mentioned force, whose observation is the aim of this contribution, is the torsion moment. If the torsion moment is too low, the base may move in the track and if it is too high, the sleeper material in the vicinity of the screw spike will be damaged. For the SŽDC line network, the conditions of screw spike installation and torsion, so-called tightening torque, are prescribed by SŽDC regulations S3 [1] and SŽDC SR103 / 3 (S) [2]. Depending on the sleeper material, the tightening torque for the screw spikes is prescribed in the wooden sleeper with an interval of 280 to 350 N · m and in the concrete sleeper with dowels an interval of 180 to 220 N m.

This paper is focused on non-standardized laboratory test focused on measurement of tightening force after tightening the screw spike, which is applied to the upper surface of the base plate placed on the sleeper. For the purpose of carrying out the test, the base plate was replaced by a specific steel weldment, which allows the installation of the load cell and thus recording the required force. The test was carried out on test specimens of creosote-oil preserved wood sleeper and prestressed concrete. Based on the processed data, a conclusion was drawn about the force by which the base plate is pressed against the sleeper in time. From the record it was possible to observe the springing of the test specimen material, which was manifested in such a way that after tightening the screw spike there was a gradual deformation of the test specimen material and thus the measured force was reduced to a steady value for a long time.

### **Keywords**

Sleepers, base plate, tightening torque, screw spike

## 1. Úvod

Vzhledem k problémům se zajištěním kvalitního dřeva pro výrobu dřevěných pražců došlo v 50. letech 20. století k vývoji pražců z předpjatého betonu a asi v posledních 20 letech k vývoji plastových a kompozitních kolejnicových podpor. [3] Pro použití plastových železničních pražců je vhodné ověřit metodiku a parametry utahování vrtulí upevňujících podkladnici na dřevěných a betonových pražcích a poté ji rozvést v metodiku pro plastové pražce. Problematiku utahování vrtulí je možné řešit experimentálním měřením utahovacího momentu a síly, kterou vrtule po instalaci přitlačuje podkladnici k pražci. Bez stanovení utahovací síly  $F_u$  není možné určit experimentálně utahovací moment do těchto nových typů příčných pražců, který je užíván při instalaci systému upevnění. Utahovací síla  $F_u$  vyvozovaná vrtulemi není žádným předpisem stanovena, i přestože se jedná o velmi důležitý parametr pro zajištění spolehlivosti kolejového roštu.

Utahovací síla musí být alespoň taková, aby bylo zajištěno, že z provozních důvodů nedojde k:

- Vytržení vrtule z pražce při zdvihové vlně,
- Překlopení podkladnice při aplikaci klínových podkladnic.

Navíc utahovací síla musí být z důvodu údržby koleje taková, aby nedošlo k:

- Vytržení vrtule z pražce při zvedání pražce během průjezdu čističky kolejového lože,
- Vytržení vrtule z pražce při trhání kolejových polí,
- Vytržení vrtule z pražce při podbíjení strojními podbíječkami.

Motivací pro provádění tohoto výzkumu je potřeba laboratorního ověření utahovací síly vrtulí k podkladnicím v železničním svršku. Tato síla není stanovena žádným předpisem a běžně není sledována. Dalším důvodem pro provedení laboratorní zkoušky závislosti stanovených utahovacích momentů na utahovací síle  $F_u$  je ověření hodnot zavedených předpisem SŽDC S3. [1] Je zapotřebí určit utahovací sílu  $F_u$  v materiálech, na kterých je utahovací moment stanovený. Předpis SŽDC S3 [1] stanovuje utahovací moment pro betonový a dřevěný pražec. Na základě těchto změřených utahovacích sil  $F_u$  je možné v případě, že se budou shodovat pro různé materiály, určit optimální utahovací sílu  $F_u$  pro jiné materiály. Pokud se dosažené hodnoty utahovací síly  $F_u$  pro různé materiály budou shodovat, lze doporučit ověření těchto hodnot i pro jiné materiály pražce. V neposlední řadě je účelem měření stanovení poklesu utahovací síly  $F_u$  s relaxací materiálu v čase. Pro nové materiály se může

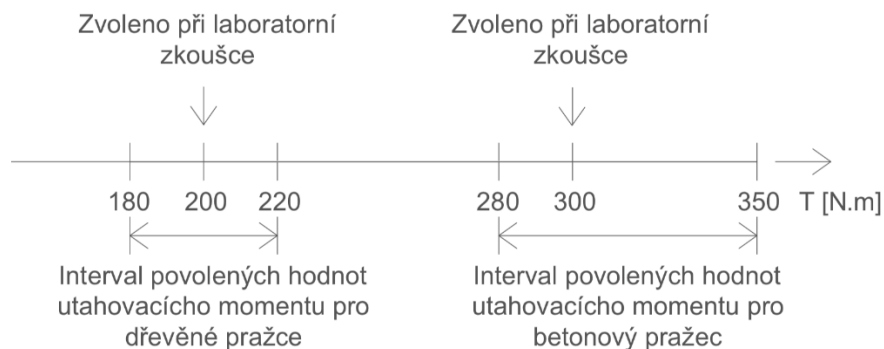


tento pokles lišit a může být při pomalejším poklesu vyžadována nebo povolena nižší utahovací síla  $F_u$  při dotažení vzhledem k jejímu následnému nižšímu poklesu. Tento pokles utahovací síly  $F_u$  je důležitým rozhodujícím parametrem pro použití nových materiálů. Zároveň tento pokles určuje utahovací sílu  $F_u$ , která je skutečně vytvářena v trati po delším čase od realizace za předpokladu, že se tato přítláčná síla  $F_u$  po čase ustálí na neklesající hodnotě. Tuto ustálenou hodnotu je také zapotřebí určit i v případě využití nových materiálů.

## 2. Metodika utahování vrtule dle předpisu SŽDC S3 [1]

Hodnota utahovacího momentu vrtule je v České republice stanovena v síti provozované státní institucí Správa železniční dopravní cesty interním předpisem SŽDC S3 s účinností od 1.3.2019. [1] Předpis SŽDC S3 ukládá dva intervaly utahovacího momentu (Obr. 1) pro dotažení vrtule v betonovém a dřevěném pražci. [1]

Předpis SŽDC dovoluje dva různé způsoby montáže, a to ruční pomocí momentového klíče nebo strojní s použitím zatačečky s nastavitelným utahovacím momentem.

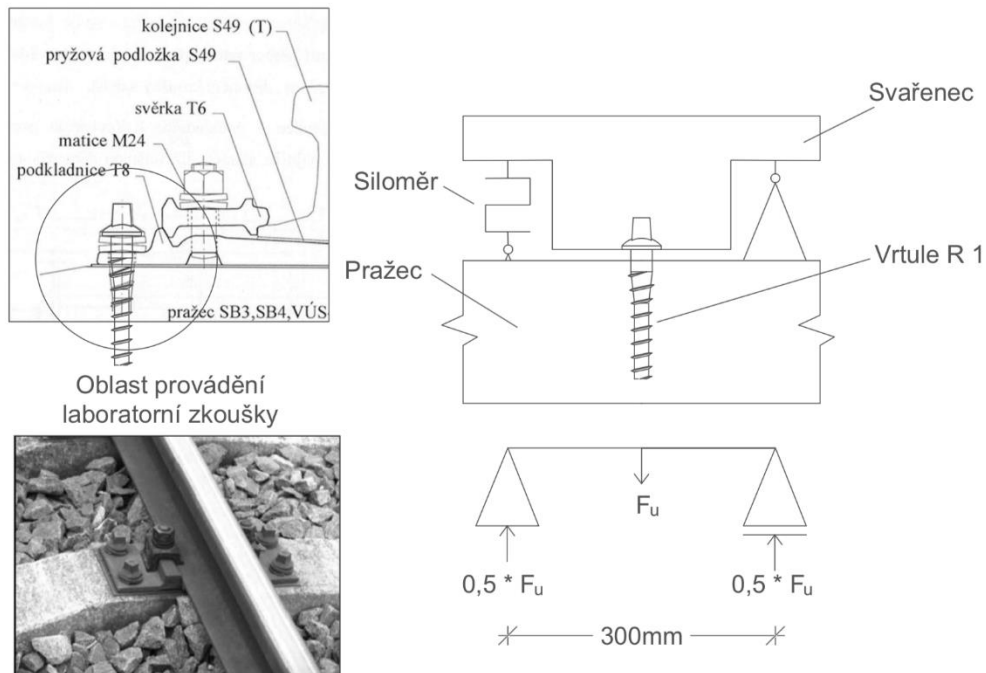


Obr. 1: Osa s parametry utahovacího momentu vrtule dle SŽDC S3 (zdroj: [1]).

## 3. Laboratorní zkouška stanovení utahovací síly vrtule

Laboratorní měření je zaměřeno na měření síly vyvozené vrtulí na horní povrch podkladnice uložené na pražci v rámci nestandardizované laboratorní zkoušky. Pro potřeby provedení zkoušky byla podkladnice nahrazena speciálním ocelovým svařencem, který umožňuje instalaci siloměru se záznamem požadované síly. Zkouška byla provedena na sérii zkušebních těles připravených z částí pražců vyrobených z impregnovaného dřeva a předpjatého betonu.

Pro provedení zkoušky byl zvolen pražec z dubového dřeva (11 zkušebních těles), pražec z bukového dřeva (9 zkušebních těles) a pražec z betonu s polyamidovými hmoždinkami (7 zkušebních těles). Testovaným parametrem byla utahovací síla  $F_u$  vrtule R 1 při dotažení předepsaným utahovacím momentem tak, jak to udává předpis SŽDC S3. [1] Jako doplnění měření byla utahovací síla  $F_u$  měřena i bez použití dvojitého pružného kroužku Fe 6, která se však neosvědčila z důvodu odporu v tření a výsledky nejsou uvedeny.



Obr. 2: Schéma svařence pro testování utahovací síly a porovnání s místem utahované vrtule na podkladnicové montáži.

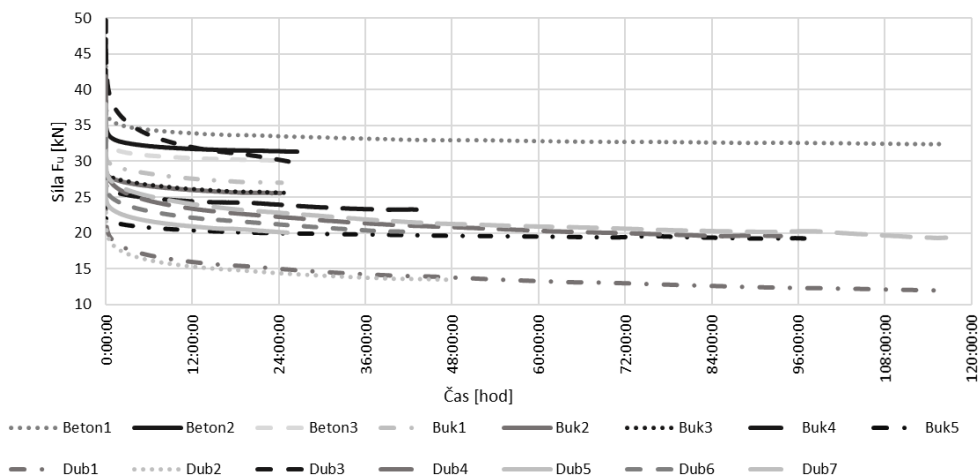
Předvrtání otvorů ve dřevěných pražcích bylo provedeno dle služební rukověti SŽDC SR 103/3(S). [2] Byly vyvrtány otvory 130 mm hluboké s průměrem 15,5 mm. Byly použity železniční pražce od výrobce Impregnace Soběslav s.r.o.

V otvorech byla provedena série měření. Pro dřevěné pražce byl zvolen utahovací moment 300 Nm a pro pražec betonový 200 Nm. Základní doba měření byla zvolena 24 hodin. Pro ověření a zjištění průběhu utahovací síly bylo provedeno v každém měřeném materiálu i dlouhodobé měření o délce 72 hodin.

## 4. Výsledky

V Obr. 3 je srovnání všech naměřených hodnot utahovací síly  $F_u$  s montáží odpovídající předpisu SŽDC S3. [1] Sada měření vykazuje velmi dobré rozdělení hodnot do intervalu od minimální po maximální naměřenou utahovací sílu  $F_u$ . Tvar křivky klesající utahovací síly je shodný pro všechna provedená měření až na výjimku u měření Dub1, která je pravděpodobně způsobena nehomogenitou dubového dřeva.

### 4.1. Dílčí výsledky



Obr. 3: Graf průběhu utahovacích sil s použitím dvojitého pružného kroužku Fe 6.

### 4.2. Souhrnné výsledky

V Tab. 2 jsou zpracovány průměrné hodnoty utahovací síly  $F_u$  všech měření pro jednotlivé materiály. Z grafů průběhů utahovacích sil  $F_u$  je patrné, že průměrné hodnoty utahovací síly  $F_u$  vrtule jsou pro jednotlivé materiály odlišné.

Tab. 2: Průměry hodnot utahovacích sil všech měření.

Materiál	Utahovací síla $F_u$ [kN]						
	Maximální síla	po 1 min	po 10 min	po 30 min	po 6 hod	po 12 hod	po 24 hod
Beton	41,2	36,0	34,5	33,9	32,5	32,0	31,7
Buk	32,4	28,0	27,0	26,6	25,5	24,9	24,4
Dub	32,6	30,0	27,0	26,0	23,0	22,0	20,9

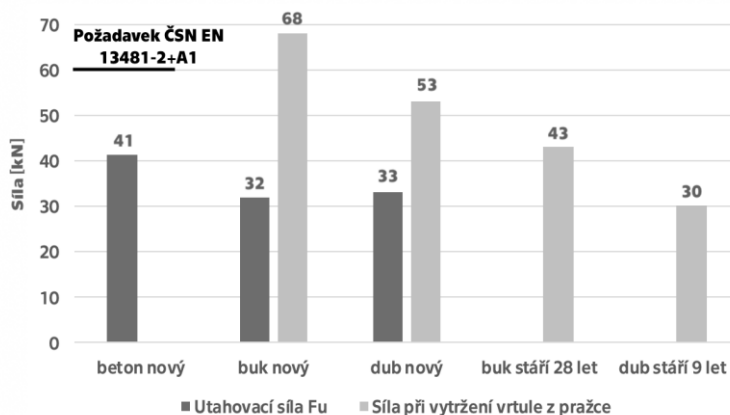
## 5. Diskuse

Sérií měření dle předpisu SŽDC S3 [1] byly zjištěny hodnoty utahovací síly  $F_u$  na vzorcích nových železničních pražců. Pražce vykazují různé hodnoty utahovací síly  $F_u$  v závislosti na materiálu. Nejvyšší utahovací síla  $F_u$  rovná 41 kN byla dosažena v betonové pražci s polyamidovou hmoždinkou. V dubových a bukových pražcích bylo dosaženo srovnatelné utahovací síly  $F_u$  rovné 32 a 33 kN.

S ohledem na vytržení vrtule je nezbytné, aby utahovací síla  $F_u$  byla nižší než síla potřebná pro vytržení. V Obr. 4 je srovnání naměřených utahovacích sil  $F_u$  se silami potřebnými pro vytržení vrtule z pražce, které stanovil Lojda [4]. Ze srovnání na Obr. 4 je patrné, že naměřené hodnoty utahovací síly  $F_u$  jsou nižší než hodnoty sil potřebných k vytržení vrtule z pražce. Na základě srovnání hodnot je možné považovat měření utahovací síly  $F_u$  za správně provedené a předepsaný utahovací moment za přijatelný s ohledem na možné poškození pražce. Na novém bukovém pražci byla naměřena hodnota utahovací síly  $F_u$  rovna hodnotě 47% trhací síly a na novém dubovém pražci hodnotě 62% trhací síly. Rozdílnost procentuálního poměru trhací a utahovací síly  $F_u$  u bukového a dubového pražce je pravděpodobně způsobena rozdílnou pružností materiálů.

Mimo jiné, zkouška zabudovaných a vlepených součástí upevnění je pro betonové pražce definována v normě ČSN EN 134812+A1 hodnotou 60 kN. Tento požadavek je rovněž graficky uveden v Obr. 4. Zkouška odolnosti proti vytržení vrtule je prováděna podle normy EN 13146-10. [5]

U betonového pražce byla zjištěna průměrná utahovací síla  $F_u$  rovnající se hodnotě 2/3 požadované minimální vertikální silové odolnosti na vytržení vrtule z pražce dle ČSN EN 13481-2+A1. [6]



Obr. 4: Srovnání utahovací síly  $F_u$  se silou potřebnou pro vytržení vrtule z pražce. [4, 6]

## 6. Závěr

Cílem prezentovaného výzkumu bylo experimentální ověření síly, kterou je podkladnice přitlačována vrtulí k pražci. Podařilo se ověřit metodu pro měření utahovací síly  $F_u$ . Z výsledků bylo zjištěno, že síla vyvozená vrtulí na podkladnici se pro různé materiály pražce za dodržení stanoveného torzního momentu liší. Tato utahovací síla  $F_u$  je i v rámci jednotlivých měření jednoho materiálu stanovována s poměrně významným rozptylem. U betonového pražce s polyamidovou hmoždinkou byl rozptyl utahovacích sil  $F_u$  výrazně nižší, než u dřevěných pražců, kde rozptyl utahovací síly  $F_u$  pravděpodobně závisí na průměru otvoru po předvrtání a nehomogenitách dřeva. Charakteristiky tohoto typu lze u betonového pražce vyloučit. Druhým faktorem ovlivňující přítlačnou sílu  $F_u$  vrtule je polyamidová hmoždinka, kde je na vrtuli kladen minimální odpor a dochází k rychlému nárůstu síly v poslední fázi utahování vrtule, kdy je vrtulí stlačován dvojité pružný kroužek. U dřevěných pražců je faktor velikosti kladeného odporu na vrtuli při zatáčení do pražce závislý na tvrdosti dřeva a velikosti předvrtaného otvoru. Odpor při zatáčení vrtule do dřevěného pražce může být v praxi ovlivněn velikostí předvrtaných otvorů za dodržení předpisu SŽDC S3 [1] a SR 103/3(S) [2]. Tento odpor omezuje velikost dosažené utahovací síly  $F_u$ .

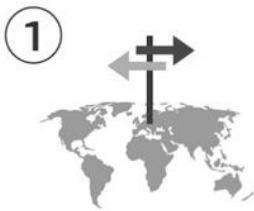
Závěrem z výsledků provedeného laboratorního měření je, že hodnoty předepsaného utahovacího momentu v předpisu SŽDC S3 [1] jsou podle utahovací síly  $F_u$  ověřené a pro užívání v koleji funkční.

**Literatura**

- [1] SŽDC Správa železniční dopravní cesty, "SŽDC S3 s účinností od 1.3.2019." SŽDC, Praha, 2019.
- [2] SŽDC Správa železniční dopravní cesty, "Služební rukověť SR 103/3 (S)." SŽDC, Praha, 2010.
- [3] V. Lojda, "Historický vývoj příčných pražců z hlediska materiálu: od kamene k polymerům," in RDIT 2018, 2018, p. 6.
- [4] V. Lojda, "Screw spike pullout test of recycled plastic," Int. J. Adv. Res. Sci. Eng., 2015.
- [5] "EN 13146-10 Railway applications - Track - Test methods for fastening systems - Part 10: Proof load test for pull-out resistance."
- [6] "ČSN EN 13481-2+A1 Železniční aplikace - Kolej - Požadavky na vlastnosti systémů upevnění - Část 2: Systémy upevnění pro betonové pražce."



# JAK VYJET NA STÁŽ?



## KAM POJEDEŠ?

prohlédni si destinace na [www.iaeste.cz](http://www.iaeste.cz), ověř si, zda splňuješ podmínky a spočítej si kolik tě bude stáť celkem stát



## REGISTRACE

připrav si potřebné dokumenty: pro registraci budeš potřebovat CV a výpis předmětů v angličtině



## VÝBĚR

největší zájem je o stáže na léto, které zveřejňujeme na ZAČÁTKU ÚNORA, registrovaným přijde upozorňující e-mail



## POHOVOR

na pohovoru v angličtině ověříme tvou vhodnost na vybranou stáž



## NOMINACE

předej podklady pro nominaci a zaplať účastnický poplatek



## AKCEPTACE!!!

zaměstnavatel tě v zahraničí přijal!  
**POTVRĚ SVOU PRAXI**



## PŘIPRAV SE

před odjezdem je potřeba zajistit letenky, víza, cestovní doklady, očkování...  
 ...a můžeš balit



## UŽIJ SI TO!

nové zkušenosti, praxe z oboru, přátelé z celého světa, cestování



## REPORT

po návratu vyplň trainee report a nahraj fotky, část poplatku ti vrátíme

# Stanovení optimálních parametrů úprav železničních tratí

Ing. **David Vodák**<sup>1</sup>, Ing. **Martin Jacura**, Ph.D.<sup>2</sup>, Ing. **Pavel Purkart**<sup>3</sup>

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

e-mail\_1: vodakdav@fd.cvut.cz,

e-mail\_2: jacura@fd.cvut.cz

e-mail\_3: purkapav@fd.cvut.cz

## Abstrakt

Předmětem tohoto článku je nastínění možné cesty k nalezení vhodného přístupu pro stanovení optimálních parametrů železniční tratě mezi dvěma zadanými místy. Záměrem je tedy 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.

## Establishment of ideal parameters of railway lines reconstructions

### Abstract

The aim of this article is to find a path to the best 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



## 1. Úvod

Předmětem tohoto článku je nalezení vhodného přístupu pro stanovení ideálních parametrů železniční tratě mezi dvěma zadanými místy. Záměrem je tedy nalezení takové skladby parametrů, která bude odpovídat významu předmětné spojnice a požadavkům, které jsou na infrastrukturu kladeny.

Tuto velmi komplexní problematiku lze vědecky zkoumat z několika různých hledisek. Samostatným odvětvím je otázka nalezení vhodné míry vložených investičních prostředků do zkoumaného spojení tak, aby bylo dosaženo požadovaných parametrů z hlediska kvality (jízdni doba vlaků) a kvantity (kapacita – propustnost).

V současné době je nejvíce využívaným nástrojem pro stanovení optimálních parametrů železničních tratí studie proveditelnosti. V rámci tohoto stupně projektové dokumentace pro přípravu stavby železniční infrastruktury je zpracován návrh dopravní technologie, technického řešení a je provedena přepravní prognóza. Návrh je vždy řešen v několika variantách. Vějíř variant je následně posuzován ekonomickým hodnocením. Základním principem je nalezení varianty, jejíž investiční náklady jsou dostatečně vyváženy přínosy. Varianta s nejlepším poměrem nákladů a přínosů bývá pak zpravidla variantou vítěznou.

Důležitou součástí celého procesu je již zmíněná přepravní prognóza. Jedním z jejích hlavních výstupů jsou výhledové počty cestujících, včetně tzv. převedených cestujících, tedy cestujících, kteří železniční dopravu dříve nevyužívali, ale na základě ztraktivnění železnice v důsledku navrhovaných úprav se rozhodnou pro změnu dopravního prostředku. Jádrem přepravní prognózy je dopravní model, který v sobě zahrnuje výpočtový aparát, jehož pomocí je ze zadaných vstupů simulován vývoj počtu cestujících. Je tedy předpokládán vztah mezi infrastrukturními úpravami, respektive jejich parametry, a trendem v počtech cestujících.

Izolování vztahu mezi počtem cestujících a parametry úprav infrastruktury je součástí vědeckého výzkumu v rámci grantu č. SGS18/150/OHK2/2T/16 Technické parametry železniční dopravní cesty pro optimální provozní koncepci 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 jejích možných úprav můžeme rozdělit do následujících skupin:

- trasování,
- počet traťových kolejí/četnost dopraven na daném traťovém úseku,
- konstrukce železniční trati,

- technologické a řídicí systémy.

Trasování železniční trati je zásadním parametrem všech větších úprav železniční infrastruktury. Tento parametr má rozhodující vliv na výslednou traťovou rychlost. Rozlišujeme tři základní druhy úprav: novostavba, kombinace přeložek a stávající stopy, vedení čistě ve stávající stopě.

Počet traťových kolejí a četnost dopraven mají významný vliv na kapacitu železniční dopravní cesty. Nepřímo také ovlivňují výslednou cestovní dobu.

Konstrukce železniční trati v sobě zahrnuje zejména železniční svršek a spodek. V případě úprav se rozlišuje jednak míra obnovy/výměny (sanace/výměna nejkritičtějších míst, sanace/výměna ucelených úseků, komplexní obnova), a také parametry výsledné konstrukce (zejména s vazbou na výslednou traťovou rychlost).

Mezi řídicí systémy řadíme zejména sdělovací a zabezpečovací zařízení, která úzce souvisí s výslednou kapacitou a bezpečností. U zabezpečovacího zařízení je důležitá vazba na traťovou rychlost.

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 stanovišť (s důrazem na zřizování bezbariérového přístupu),
- modernizaci řídicích systémů s důrazem na aplikaci dálkového řízení.

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

### 3. Dopravní modelování

Jak bylo zmíněno v úvodní kapitole – nedílnou součástí návrhu úprav železniční infrastruktury je přepravní prognóza, která v sobě skrývá dopravní model, pomocí něhož je modelován výhledový rozsah poptávky po přepravě a další veličiny, které souhrnně popisují budoucí přepravní vztahy ve zkoumané oblasti, zejména ve vztahu k předmětné infrastruktuře, respektive zamýšleným úpravám předmětné infrastruktury.

Mezi nejrozšířenější modely patří LOGIT model a čtyřfázový dopravní model.

#### 3.1. LOGIT Model

LOGIT model je velmi častou metodou využívanou v teorii volby. V podmínkách ČR bývá rovněž označován jako logistický model. [4] [5]

Výstupem toho modelu je pravděpodobnost volby dané varianty z konečné množiny variant. Podmínkou pro použití toho modelu je vyčíslení nákladů (užitku) na každou variantu. Rovněž je nezbytné zjistit parametr  $\varphi$ , který vyjadřuje ochotu uživatelů modelovaného systému volit nákladnější varianty. [4]

#### 3.2. Čtyřstupňový dopravní model

Výstupem prvního stupně modelu jsou zdrojové (disponibilita) a cílové (atraktivita) proudy jednotlivých přepravních okrsků v rámci řešeného časového období. Jedná se pouze o intenzity bez směrování. [4]

Ve druhém stupni probíhá určení směrůvosti přepravních proudů mezi jednotlivými okrsky. Výsledky z tohoto stupně se prezentují ve formě matice přepravních vztahů (tzv. OD matice – origin- destination matrix). Používané metody lze rozdělit do dvou skupin: analogické (máme k dispozici OD matici z předchozího období, kterou modifikujeme pro aktuální období) a syntetické (tvoříme zcela novou matici).

Třetí stupeň se zabývá rozdělením intenzit z OD matice mezi jednotlivé druhy dopravy. Pojem druh dopravy je ovšem nutné brát s rezervou, neboť členění je závislé na architektuře systému a eventuálním dalším členěním (silniční doprava se může dále dělit na osobní a nákladní vozidla, ale i jízdní kola). [4]

V posledním stupni modelu dochází k přiřazení přepravních proudů na konkrétní infrastrukturu. [4]

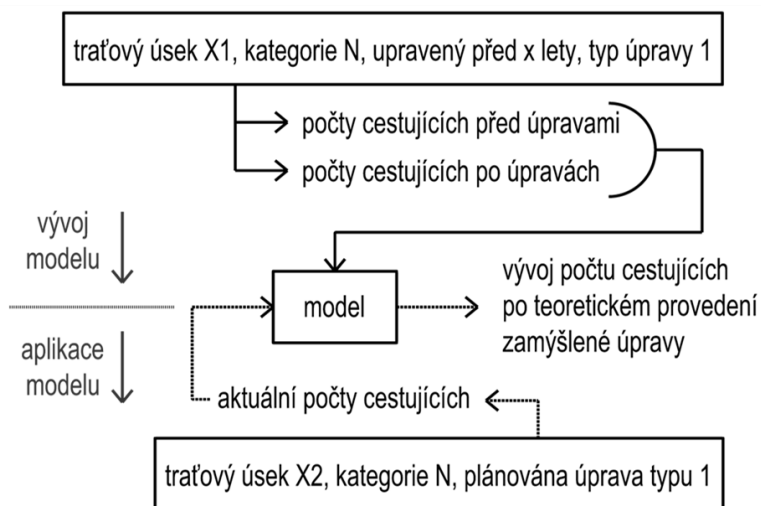
## 4. Modelování vztahu infrastruktura-počet cestujících

Základním spojovacím prvkem všech dříve uvedených metod je, že žádná z nich nereflektuje zkušenosti s vývojem trendu v počtech cestujících po provedených infrastrukturních změnách. Dopravní modelování s využitím těchto zkušeností je jádrem autorovy výzkumné činnosti. Fakticky by se mělo jednat o vytvoření funkčního modelu vztahu vývoje počtu cestujících v závislosti na míře úpravy infrastruktury.

### 4.1. Návrh dalšího postupu

Základní myšlenkou je nastavení 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 přínosů z provozu a z infrastruktury. S použitím metod stochastického modelování potom můžeme sestavit model, který nám na základě počtu cestujících před úpravou, charakteristiky daného úseku a typu úprav bude schopen simulovat vývoj cestujících po provedení zamýšlených úprav. Grafické znázornění postupu zamýšlené práce je na obrázku 1 zjednodušeným vývojovým diagramem.

Obr. 1. Vývojový diagram zamýšleného postupu



Zamýšlenou práci lze rozdělit do celkem pěti fází:

1. Kategorizace tratí a jejich úprav
2. Vytipování vzorových tratí (již upravených)
3. Sběr dat pro vzorové tratě
4. Sestavení modelu
5. Kalibrace a verifikace modelu

#### **4.2. Kategorizace tratí**

V rámci kategorizace tratí by se nemělo přihlížet pouze na způsoby kategorizace dle legislativy (TEN-T, celostátní, regionální), ale měla by být zohledněna i role železniční tratě v dopravní obsluze území (spojnice krajských měst, napojení okresního na krajské, atp.).

Kategorizace úprav bude zohledňovat široký vějíř variant od novostaveb až po investičně nejméně náročné varianty. V posledním stupni modelu dochází k přiřazení přepravních proudů na konkrétní infrastrukturu. [4]

#### **4.3. Vytipování vzorových tratí**

V této fázi by měla být pro každou dvojici kategorie tratě a kategorie úpravy nalezena vzorová trať, která již byla upravena. Tratě by měly být voleny tak, aby byly co nejméně zatíženy zvláštními okolními vlivy, které lze obtížně generalizovat.

#### **4.4 Sběr dat pro vzorové tratě**

Pro každou dvojici budou zajištěna statistická data o počtech cestujících před a po provedení úprav a rovněž podklady o dopravní nabídce (linky vlaků osobní dopravy – jejich kategorie, interval, obsaditelnost).

#### **4.5. Model**

Na základě získaných dat a metod stochastického modelování bude pro každou dvojici vytvořen model. Tento model bude schopen na základě vložení kategorie tratě, kategorie zamýšlených úprav a aktuálních počtů cestujících schopen simulovat vývoj počtu cestujících po provedení úprav. Při tvorbě modelu je počítáno s využitím programu SCILAB, což je volně šiřitelný software pro numerické výpočty. Aby byla zajištěna vypovídací schopnost modelu, musí být kalibrován a verifikován.

Stochastický model je obrazem dopravního systému (systémem je myšlen soubor veličin, který souvisí se zkoumaným dopravním procesem), přičemž se jedná o matematický popis závislosti modelované

veličiny na jiných vhodně vybraných veličinách. Funkční závislost veličin zpravidla neznáme, a tak vztahy mezi veličinami popisujeme pomocí parametrů. Pro použití v rámci autorova výzkumu se jako modelovaná veličina uvažuje počty cestujících na zkoumané infrastruktuře. [5]

## 5. Závěr

V první části tohoto článku je shrnuto dosavadní poznání a praxe v oblasti návrhů parametrů úprav železniční infrastruktury a dopravního modelování. V druhé části je popsán dosavadní autorův výzkum, včetně popisu dalšího postupu.

Předpokládané výstupy autorova výzkumu by mohly vést k výrazným inovacím v oblasti plánování rozvoje železniční infrastruktury, zejména díky obohacení dopravního modelování o skutečná data z již upravených částí infrastruktury.

Autor předpokládá další pokračování svého výzkumu v rámci grantu č. SGS18/150/OHK2/2T/16 Technické parametry železniční dopravní cesty pro optimální provozní koncepci Studentské grantové soutěže ČVUT v Praze a své disertační práce.

## 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.
- [4] BULÍČEK, Josef a kol. *Modelování technologických procesů v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2011. ISBN 978-80-7395-442-0.
- [5] NAGY, I. *Stochastické systémy* (učební text k přednáškám).

## Poděkování

*Příspěvek vznikl za podpory Studentské grantové soutěže ČVUT v Praze v rámci projektu č. SGS18/150/OHK2/2T/16 Technické parametry železniční dopravní cesty pro optimální provozní koncepci.*

# **Základní charakteristiky materiálu městské protihlukové clony**

**Ing. Lucie Zemanová**

*Fakulta stavební ČVUT v Praze*

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

*e-mail: lucie.zemanova@fsv.cvut.cz*

## **Abstrakt**

Článek se zabývá základní charakterizací pojeného gumového granulátu užívaného v inovativních a experimentálních aplikacích u drážních staveb. Příspěvek v úvodu shrnuje již dříve stanovené materiálové charakteristiky. V hlavní části popisuje další, na vzorcích materiálu zjištěné materiálové vlastnosti jako objemová hmotnost, hustota matrice, porozita a hmotnostní nasákavost. Na výluhu materiálu byl testován obsah chloridových solí a pH.

## **Klíčová slova**

Pojený gumový granulát, základní materiálové charakteristiky, chloridové ionty, optická mikroskopie.

## **Basic material characteristics of the Municipal noise absorbing screen**

### **Abstract**

The article deals with the basic characterization of bonded rubber granulate used in innovative and experimental applications in railway structures. In the introduction, the paper summarizes the previously determined material characteristics. The main part describes other material properties found on the material samples such as bulk density, matrix density, porosity and mass absorption. The leachate of the material was tested for the amount of chloride salts and pH.

### **Keywords**

Bonded rubber granulate, basic material characteristics, chloride ions, optical microscopy.



## 1. Úvod

Pojený gumový granulát je kompozitní materiál na bázi recyklované pryže. Jedná se o druhotnou surovinu získanou z recyklovaných pneumatik, jejíž drobné granule do velikosti 4 mm jsou k sobě pevně spojené polyuretanovým pojivem. Z materiálu mohou být odlévány výrobky v podstatě neomezeného tvaru.

V tomto případě byl zkoumán typ spojeného gumového granulátu, jež byl použit jako výhradní materiál pro výrobu dílců nízkého protihlukového prvku - městské protihlukové clony (dále „MPHC“), a který je používán při pokládce tzv. litých nástupišť a povrchů, které byly zkušebně zřízeny ve třech železničních stanicích. Obě tyto aplikace byly vyvinuty Katedrou železničních staveb, Fakulty stavební ČVUT v Praze ve spolupráci s firmou Montstav CZ s.r.o. sídlící v Dolním Rychnově, která se zabývá recyklací a výrobou prvků z recyklované gumy [1].

Městská protihluková clona - MPHC – je určena pro útlum hluku z kolejové dopravy, vznikajícího na kontaktu kolo-kolejnice a je charakteristická malou výškou – pouze cca 30 cm nad temenem kolejnice. Zkušební úseky MPHC byly zřízeny dva: první v roce 2016 v Praze-Braníku, druhý v roce 2018 v Praze-Hloubětíně. Clona efektivně tlumí vznikající hluk i díky tomu, že je umístěna v bezprostřední blízkosti obrysu vozidel. Gumový granulát má sám o sobě velmi dobrou akustickou pohltivost, která je ještě podpořena množstvím mezer mezi zrny i speciálním tvarováním panelu (vlny, výstupky) [2].

Ke zkušební úpravě nástupišť došlo v letech 2016 – 2017 ve třech vybraných železničních stanicích Vrchlabí, Sušice a Nezvěstice, které se všechny nachází v podhorských oblastech. Na upravených nástupištích byla provedena i celá řada měření a zkoušek s cílem stanovit parametry tření a protiskluzové vlastnosti.[3]

## 2. Základní materiálové charakteristiky gumového granulátu

Využitím gumového granulátu se různá pracoviště Fakulty stavební ČVUT v Praze zabývají dlouhodobě. V rámci dosavadního výzkumu byly stanoveny následující materiálové vlastnosti: **volně sypaný** gumový granulát dosahuje objemové hmotnosti kolem **550 – 600 kg.m<sup>-3</sup>**, vhodným postupem bylo dosaženo objemové hmotnosti až cca 800 kg.m<sup>-3</sup>. [4] Na základě zkoušek byla zjištěna schopnost gumové drtě vázat na sebe ropné produkty, které se u kolejové dopravy vyskytují jako úkapy z kolejových vozidel. Sorbční polštáře vyplněné gumovou drtí prokázaly sorbční schopnost více než **2,5 l nafty / kg** sorbentu. [5] Propustnost vyjádřená koeficientem filtrace byla stanovena na

$k = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m.s}^{-1}$ , materiál tak lze charakterizovat jako velmi propustný. I první experimenty týkající se problematiky ochrany zemní pláň mrazem ukázaly neočekávané pozitivní výsledky – na základě laboratorních měření byl pro směs GG 2/8 stanoven součinitel tepelné vodivosti na  $\lambda = 0,11 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$  – tedy jen cca 3 - 4× nižší izolační schopnost než dosahuje polystyren nebo minerální vlna a 10 - 15× vyšší izolační schopnost než má pro konstrukční vrstvy používaná štěrkodrt. [4]

Tyto vlastnosti byly stanoveny pro volně sypaný granulát, lze však předpokládat, že granulát pojený bude ve většině parametrů dosahovat obdobných vlastností.

Zejména pro prvek Městské protihlukové clony pak byly navrženy další zkoušky s cílem potvrdit další předpoklady chování – jako příklad lze uvést experimentální zkoušku odolnosti proti působení plamene [6], nebo experimentální zkoušku odolnosti MPHC a možnosti její destrukce při zásahu Integrovaného záchranného systému [7].

### 3. Stanovení dalších materiálových charakteristik pojeného gumového granulátu

Za účelem získat představu i o dalších vlastnostech **pojeného gumového granulátu** byla změřena jeho objemová hmotnost a hustota matrice a z jejich hodnot vypočítána porozita. Dále byla stanovena hmotnostní nasákavost saturovaného materiálu.

Objemová hmotnost  $\rho_b$  [ $\text{kg/m}^3$ ] byla stanovena z rozměrů 3 zkušebních vzorků a jejich hmotností. Hustota matrice  $\rho_{He}$  [ $\text{kg/m}^3$ ] gumového granulátu byla naměřena na héliovém pyknometru Pycnomatic ATC – 3. Předem zvážené vzorky byly postupně umístěny do měřicí komory přístroje, do které bylo následně vpuštěno známé množství hélia. Po vyplnění všech pórů a mezer došlo k ustálení tlaku plynu a pomocí známých konstant byl vypočítán objem, respektive hustota matrice vzorků. Z předešlých charakteristik byla vypočítána porozita materiálu  $\Psi$  [%] podle vzorce

$$\Psi = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_{He}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Dále byly 3 vysušené vzorky zcela ponořeny do nádoby s vodou a ponechány až do plné saturace, což bylo ověřeno průběžným vážením. Z hmotností vysušených a saturovaných vzorků byla následně vypočítána hmotnostní nasákavost dle vztahu

$$w = \frac{m_{\text{sat}} - m_s}{m_s} \cdot 100 \text{ [%]},$$

kde  $m_s$  [g] je hmotnost suchého vzorku a  $m_{\text{sat}}$  [g] je hmotnost saturovaného vzorku.

Tab. 1. Základní materiálové charakteristiky

číslo vzorku	hustota matrice	hustota matrice průměr	objemová hmotnost	objemová hmotnost průměr	porozita	hmotnostní nasákavost	hmotnostní nasákavost průměr
	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]		[%]	[kg/kg]
1	1172	1177	927	935	20,6	14,5	14,9
2	1178		945			15,4	
3	1181		932			14,8	

Oproti tradičním, zejména betonovým, protihlukovým prvkům se směs pojeného gumového granulátu vyznačuje velmi nízkou objemovou hmotností. Ta je zajištěna jak velmi nízkou hustotou matrice materiálu – recyklované pryže, tak i poměrně vysokou porozitou materiálu, respektive mezerami mezi jednotlivými gumovými granulami.

Díky své otevřené mezerovité struktuře materiál zaručuje zejména velmi dobrou akustickou pohltivost [1,2]. Další jeho výhodou je možnost rychlé demontáže, což může být rozhodujícím faktorem v případě nutnosti zásahu integrovaného záchranného systému [7].

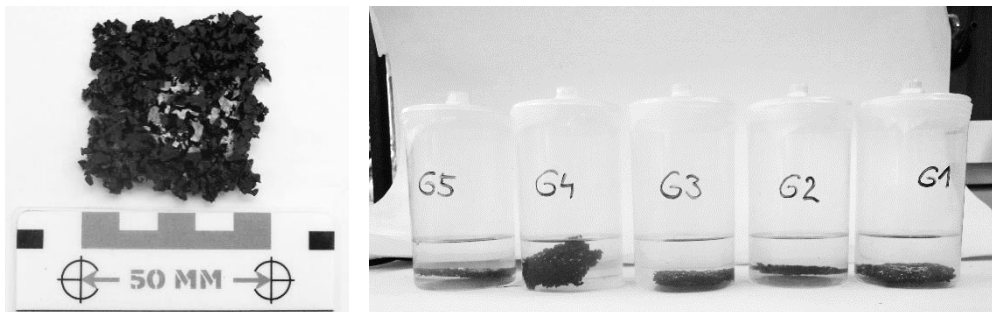
#### 4. Charakteristika výluhů - koncentrace chloridových iontů a pH

Potenciálně hrozí riziko uvolnění škodlivých látek z gumového granulátu, který je získaný z vyřazených pneumatik. Tyto látky by mohly vést ke korozi a degradaci prvků nacházejících se v blízkosti městské protihlukové clony, zejména v konstrukci kolejového lože. Přítomnost kyselin může zapříčinit korozi ocelových prvků, chloridové soli zase nežádoucí rozpínání v prvcích betonových, jež může vést ke vzniku trhlin a celkové degradaci.

Vzorky pojeného gumového granulátu o přibližných rozměrech 5,0 x 5,0 x 0,5 cm byly naloženy do 100 ml destilované vody. Nádobky s naloženými vzorky byly umístěny do laboratorní vyhřívané třepačky a protřepávány po dobu 24 hodin při 80 °C. Poté byly uskladněny a po uplynutí 1, 2 a 3 měsíců od naložení byla měřena koncentrace chloridových iontů ve výluhu. Jelikož se od sebe výsledky 2. a 3. měření odlišovaly jen v rámci chyby měření, byly poslední získané hodnoty pokládány za ustálený stav. Množství uvolněných iontů bylo následně vztaženo na hmotnost jednotlivých vzorků, dle vztahu

$$s = \frac{c \cdot V}{m_s}$$

kde  $s$  [g/kg] je množství chloridových iontů v pojeném gumovém granulátu,  $c$  [mg/l] je koncentrace chloridových iontů ve výluhu,  $V$  [l] je objem výluhu a  $m_s$  [g] je hmotnost suchého vzorku.



Obr. 1. Vlevo: vzorek pojeného gumového, vpravo: vzorky naložené v destilované vodě pro charakterizaci výluhů

Koncentrace chloridových iontů byla měřena ionometrem WTW připojeným na iontově selektivní elektrodu ISE Cl 500 DIN, jež funguje na principu měření membránového potenciálu. Sonda se skládá z vnějšího pláště, na němž je umístěna vnější elektroda, polopropustné membrány (vespod sondy) a vnitřní elektrody. Sonda se před každým měřením naplní referenčním roztokem o známé koncentraci stanovovaného iontu a umístí do analyzovaného roztoku. Vzhledem k rozdílným koncentracím iontů v obou roztocích dochází k průchodu iontů skrz membránu a vzniku potenciálového spádu na rozhraní roztoků a membrány. Ionometr měří rozdíl potenciálů obou elektrod (napětí) a za využití známých hodnot pro referenční roztok vypočítá koncentraci sledovaných iontů v analyzovaném roztoku. Nutno dodat, že měřicí metoda je závislá jak na teplotě a tlaku prostředí, tak na přítomnosti cizích iontů v roztoku, jejichž vyšší koncentrace mohou mírně zkreslovat naměřená data.

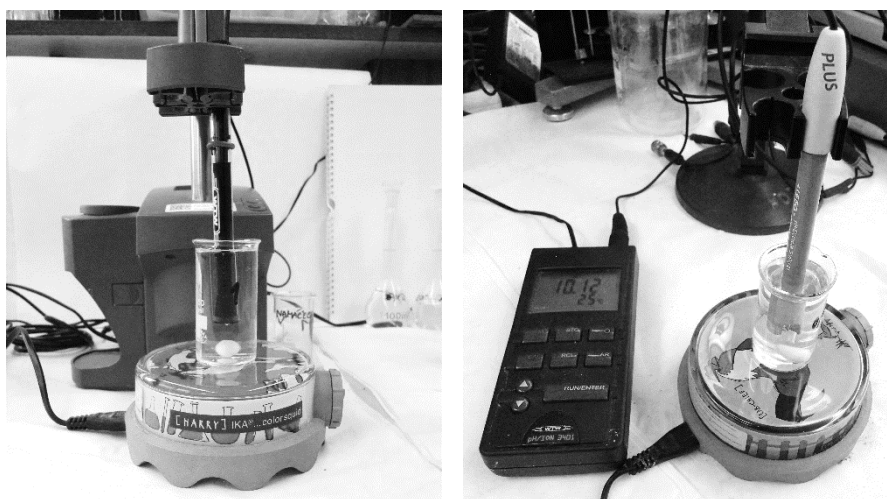
Stanovení pH výluhů bylo provedeno pomocí ionometru WTW a pH-skleněné elektrody SenTix 21. Měření pH probíhá na obdobném principu jako měření iontových koncentrací.

Pro porovnání bylo stanoveno též pH destilované vody, jež měla hodnotu 6,9.

Tab. 2. Charakteristika výluhů - koncentrace chloridových iontů a pH

číslo vzorku	obsah Cl <sup>-</sup> ve vzorku	obsah Cl <sup>-</sup> ve vzorku průměr	pH výluhu	pH výluhu průměr
	[g/kg]	[g/kg]		
1	0,77	<b>0,73</b>	6,3	<b>6,4</b>
2	0,67		6,4	
3	0,75		6,4	
4	0,79		6,3	
5	0,65		6,5	

Z naměřených výsledků je patrné, že je možné z pojeného gumového granulátu uvolnit pouze nepatrné množství chloridových solí, jež nemohou okolí protihlukového prvku nijak ohrozit. Taktéž pH výluhů bylo jen o málo nižší než pro destilovanou vodu, z tohoto pohledu tedy materiál nepředstavuje žádné riziko.



Obr. 2. Vlevo: ionově selektivní elektroda, vpravo: pH-elektroda

## 5. Závěr

Provedené zkoušky, jejichž provedení a výsledky jsou blíže popsány v tomto příspěvku, doplňují znalosti o pojeném gumovém granulátu. Objemová hmotnost vzorku pojeného gumového granulátu odebraného ze segmentu Městské protihlukové clony byla stanovena na 935 kg.m<sup>-3</sup>, porozita 20,6 % a nasákavost 14,9. Na výluhu materiálu byl také testován obsah chloridových solí a pH. Z naměřených výsledků je patrné, že je možné z pojeného gumového granulátu uvolnit pouze nepatrné množství chloridových solí, jež nemohou okolí protihlukového prvku nijak ohrozit. Taktéž pH výluhů bylo jen o málo nižší než pro destilovanou vodu, z tohoto pohledu tedy materiál nepředstavuje žádné riziko.

## Literatura

- [1] BRET, O.: Aplikace inovativní protihlukové clony na tramvajové trati v Praze – Hloubětíně. In: Doprava, zdraví a životní prostředí. 2018.
- [2] BRET O.; VÁŇOVÁ P. Development of the Municipal Noise-absorbing Screen and test section construction technology In: Student Scientific Conference Modernization of Railway IRICoN 2017. Praha: Czech Technical University in Prague, 2017. pp. 6-11. ISSN 2336-5382. ISBN 978-80-01-06297-5.
- [3] BENEŠ, M.: Protiskluzové úpravy nástupišť technologií gumové stěrky, bakalářská práce, Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2017.
- [4] BRET, O., LIDMILA, M.: Gumový granulát: přehled základních vlastností a chování materiálu. Pp.1-7. Sborník konference Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví 2016, ISBN: 978-80-01-05977-7.
- [5] BRET, O. *Možnosti využití adsorbentů z recyklované gumy v kolejišti*. SVOČ Praha, SVOČ Bratislava. 2015. Příspěvek konference SVOČ. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. [online] [15.9.2017] Dostupné z: <http://www.fsv.cvut.cz/svoc/2015/dos-bret.pdf>
- [6] MAŠKOVÁ, Z.: *Požární vlastnosti Městské protihlukové clony*. SVOČ Praha, SVOČ Praha. 2018. Příspěvek konference SVOČ. ČVUT v Praze, Fakulta stavební.
- [7] BRET, Ondřej: Experimentální zkouška odolnosti Městské protihlukové clony a možnosti její destrukce při zásahu IZS. In: Experimentální a výpočtové metody. 2019.
- [8] ČSN EN 14629 (732155): Zkušební metody - Stanovení obsahu chloridů v zatvrdlém betonu



**Název:** **Sborník příspěvků konference Želva 2019**

**Editor:** Ondřej Bret

**Vydalo:** České vysoké učení technické v Praze

**Zpracovala:** Fakulta stavební  
Katedra železničních staveb  
Thákurova 7, Praha 6 – Dejvice, 166 29  
(+420) 224 354 752

**Tisk:** Powerprint s.r.o.  
Brandejsovo náměstí 1, Praha – Suchdol, 165 00

**ISBN:** **978-80-01-06622-5**

**Vydání:** první

**Náklad:** 40 výtisků

**Počet stran:** 178

**Praha, 2019**





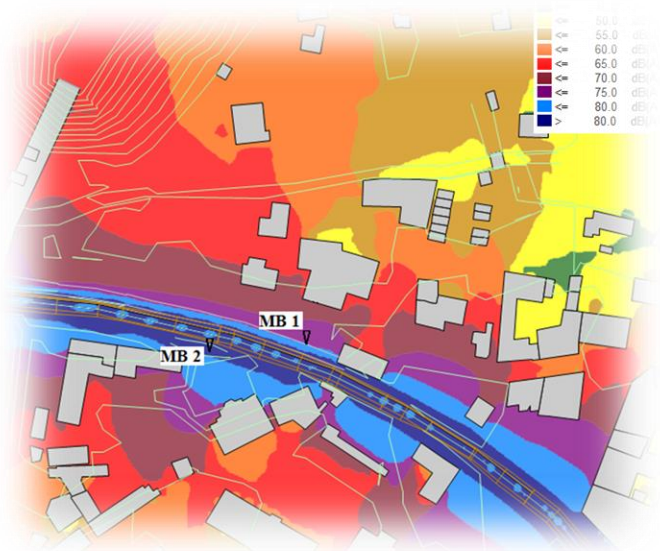
KATEDRA  
ŽELEZNIČNÍCH STAVEB  
FAKULTA STAVEBNÍ  
ČVUT V PRAZE

**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 978-80-01-06622-5**