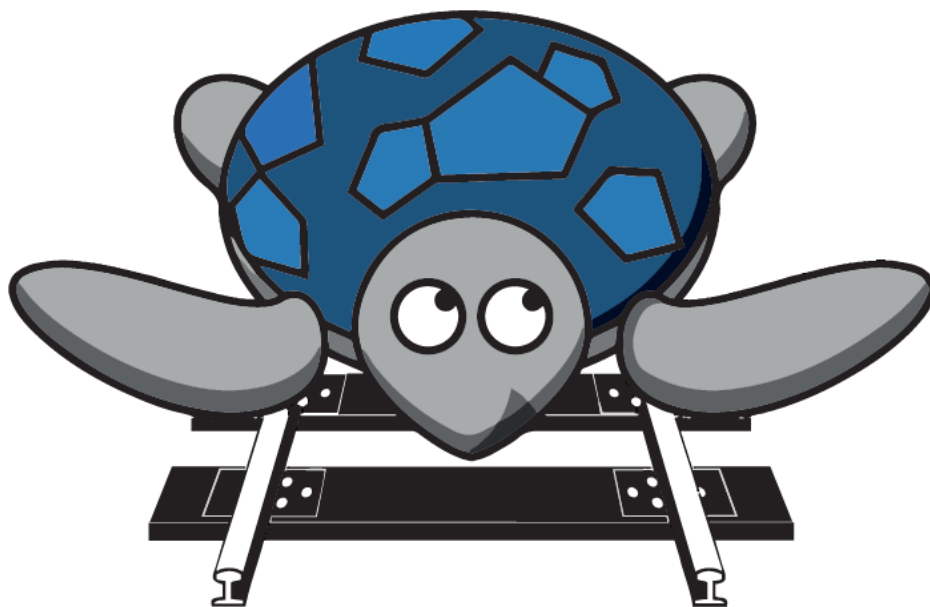


SBORNÍK STUDENTSKÉ VĚDECKÉ KONFERENCE ŽELEZNIČNÍ VÝZKUMNÉ AKTIVITY

4. ročník

13. – 14. ZÁŘÍ 2022

JIHLAVA



ŽELVA 2022



Sborník příspěvků ŽELVA 2022

Studentská vědecká konference
Železniční výzkumné aktivity

4. ročník
13. – 14. září 2022
Jihlava

GARANT KONFERENCE/SUPERVISOR

Ing. Leoš Horníček, Ph.D.

EDITOR SBORNÍKU/EDITOR

Ing. Magdalena Křečková

PŘÍPRAVNÝ VÝBOR KONFERENCE/ORGANIZING COMMITTEE

Ing. Ondřej Bret
Ing. Magdalena Křečková

POŘADATEL

Katedra železničních staveb, Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 2077/7, Praha 6 – Dejvice, 166 29
<http://kzs.fsv.cvut.cz>
tel.: (+420) 224 355 460

Úvodní slovo

Vážení kolegové a studenti,

dostává se Vám do rukou sborník ze 4. ročníku studentské vědecké konference **Železniční výzkumné aktivity 2022** se zavedenou zkratkou ŽELVA, která se uskutečnila v termínu 13.-14. září 2022 v Jihlavě. Po organizační stránce konferenci zajistila Katedra železničních staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze za finanční podpory grantového fondu ČVUT a navázala tak na předchozí tři ročníky počínaje rokem 2019.

Konference byla tradičně tematicky zaměřena na aktuální trendy ve vývoji a výzkumu konstrukcí, materiálů a technologií kolejové infrastruktury a též na trendy v oblasti návrhu kapacit a bezpečnosti kolejové dopravy. Určena byla pro studenty doktorského a magisterského studia i další mladé akademické pracovníky do 35 let se zaměřením na kolejové stavby, drážní dopravu a příbuzné obory.

Sborník obsahuje celkem 10 prezentovaných příspěvků. Velmi oceňuji bohatou diskusi, která následovala po každém předneseném tématu. Mladí autoři tak měli možnost získat cennou zpětnou vazbu od zkušenějších pedagogů a praktiků a též od studentů s širokým oborovým zaměřením. Věřím, že ji dobře využijí v další fázi svého studia a výzkumné činnosti.

Protože účastníci vyslovili zájem pokračovat v setkávání s roční periodicitou, pustili jsme se již nyní do příprav příštího ročníku konference. Nově plánujeme pozvat i studenty a kolegy z oborově příbuzných slovenských univerzit.

Těším se na setkání s vámi všemi opět za rok!

Ing. **Leoš Horníček**, Ph.D.
Katedra železničních staveb
Fakulta stavební ČVUT

Obsah

Heller, Š. Strojní čištění kolejového lože v komplikovaných místech železniční trati	7
Křečková, M., Bret, O. Ojetí mělkých tramvajových srdcovek	17
Kruntorád, J., Týfa, L. Bezpečnost na železnici	25
Lojda, V., Graman, F., Horníček, L. Laboratorní hodnocení míry znečištění kolejového lože pomocí georadaru	31
Okřinová, P., Nikolov, D. Využití časoprostorových predikcí pro návrh staveb	41
Petýrek, M., Pospíšil, J., Horníček, L. Stanovení parametrů zemin pro výpočet kritické rychlosti zemin v trase VRT Moravská brána	52
Pospíšil, J., Valentin, J., Horníček, L. Zrnitost kameniva asfaltového betonu pro vysokorychlostní tratě v České republice	61
Purkart, P. Řešení přetížené kapacity železniční dopravní infrastruktury – přístup tuzemské a zahraniční legislativy a předpisů	68
Seidl, J. Vliv konstrukce čela tramvaje na následky nehod s osobními automobily	76
Vrba, J. Koncepce aktivního natáčení dvojkolí autonomní tramvaje	88

Strojní čištění kolejového lože v komplikovaných místech železniční trati

Bc. Štěpán Heller¹

Fakulta stavební ČVUT v Praze

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

e-mail_1: stepan.heller@fsv.cvut.cz

Abstrakt

V klasické konstrukci železničního svršku obstarává kolejové lože několik důležitých funkcí zajišťující bezpečný a komfortní provoz na železničních tratích. V průběhu životnosti trati dochází k postupnému znečišťování kolejového lože, které vede ke degradaci konstrukce trati. Cílem čištění kolejového lože je obnovení jeho původních vlastností. Článek popisuje omezení použití strojních čističek kolejového lože v důsledku charakteru trati a možnosti využití alternativních způsobů čištění kolejového lože.

Klíčová slova

Kolejové lože, železniční svršek, pražcové podloží, čištění kolejového lože, výzisk, nástupiště s pevnou nástupní hranou.

The Usage of Ballast Cleaning Machines in Involved Parts of the Railway

Abstract

In the classic permanent track construction, the ballast provides several important functions ensuring safe and comfortable traffic operation. The ballast is gradually polluted during the line's lifetime which leads to the degradation of a track structure. The purpose of the ballast cleaning is to restore its original properties. The article describes limits of the usage of ballast cleaning machines due to the line's character and shows the alternative ways of ballast cleaning.

Keywords

Ballast, permanent track construction, track bed, ballast cleaning, ballast material for re-use, platform with coper.

1. Kolejové lože a jeho funkce

Kolejové lože je základní součástí klasické konstrukce železničního svršku u konvenčních železničních tratí. Je tvořeno kamenivem frakce 31,5/63 mm, které může být přírodní, umělé nebo recyklované. V příčném řezu má tvar lichoběžníku. [8]

Kolejové lože zajišťuje rovnoměrný přenos silového zatížení z příčných podpor do železničního spodku, odpor proti příčným a podélným posunům kolejového roštu a ochranu proti negativním účinkům mrazu a vody. Dále zajišťuje prostorovou polohu koleje, napomáhá tlumení dynamických účinků provozu a spolu s příčnými podporami a kolejnicovým upevněním zajišťuje pružnou deformaci koleje. [3] S tím souvisí také tloušťka kolejového lože, což je svislá vzdálenost mezi ložnou plochou pražce v místě nepřevýšeného kolejnicového pásu a plání tělesa železničního spodku. Jelikož betonové pražce mají vyšší ohybovou tuhost než pražce dřevěné, je třeba potřebnou pružnost koleje zajistit pružným upevněním kolejnic a větší tloušťkou kolejového lože (zpravidla o 50 mm). Konkrétní tloušťku kolejového lože předepisuje v závislosti na kategorii dráhy a materiálu pražce předpis SŽ S3, díl X. [4]

Všechny výše vypsané funkce může kolejové lože plnit pouze za předpokladu, že je tvořeno kvalitním kamenivem vhodné frakce s vyhovujícími mechanickými a granulometrickými vlastnostmi. Ty se však v průběhu životnosti mohou postupně zhoršovat. Vlivem cyklického zatěžování trati dochází k mechanickému obrušování a rozpadu zrn. Původní frakce je zanášena vnějšími nečistotami (vegetační nálety, spad z železničních vozidel, úkapy přepravovaných materiálů), ale také protlačení materiálu pláň tělesa železničního spodku do kolejového lože. Všechny tyto vlivy způsobují postupné snižování propustnosti kolejového lože, což vede k zadržování vody a zvýšení namrzavosti. Postupně klesá tření mezi šterkovými zrny, zmenšuje se úhel vnitřního tření a vlivem zhoršeného roznosu zatížení je na podloží generován vyšší tlak. Dále v důsledku znečištění klesá pružnost šterkového lože, což vede ke zvýšenému namáhání kolejového lože. [1] Je redukována funkce tlumení dynamických účinků a zvýšena hlučnost dráhy vůči okolí. Podbitím koleje lze parametry kolejového lože o trochu zlepšit, nicméně jedná se pouze o krátkodobý účinek. [3]

2. Čištění kolejového lože

Cílem čištění kolejového lože je obnovení jeho původních vlastností. Kolejové lože tak plní všechny své funkce, což má pozitivní vliv na jízdní komfort, stabilitu koleje a životnost konstrukce trati. [1] Zároveň je snížena četnost úprav GPK podbíjením. V neposlední řadě má čištění kolejového lože kladný vliv na životní prostředí, jelikož pročištěné kamenivo se zpravidla vrací do konstrukce tratí a je tak šetřeno přírodními zdroji.

Rozhodnutí o strojním čištění kolejového lože se provádí na základě posouzení křivky zrnitosti kameniva kopaných sond dle ČSN EN 13450 a OTP – Kamenivo pro kolejové lože železničních drah. Posuzuje se procentuální hmotnostní podíl podsítného pod 22,4 mm k celkové hmotnosti vzorku. Při překročení hodnoty 30 % je čištění lože doporučeno.

Čištění kolejového lože se dále provádí vždy při rekonstrukci železničního svršku nebo spodku trati a také vždy při souvislé výměně pražců. [3]

2.1. Strojní čističky kolejového lože

K čištění kolejového lože jsou zpravidla užívány strojní čističky. Jedná se o speciální kolejové stroje s vlastním pohonem. Nejdůležitější součástí těchto strojů je těžící zařízení. To se obvykle skládá ze zařízení k přizvednutí kolejového roštu, těžícího řetězu (jednostranného nebo nekončitého) a vibračního třídiče. Do dalšího vybavení stroje mohou patřit zhutňovače PTŽS, zařízení pro rozprostírání geosyntetik, podbíjecí agregáty, zhutňovače nebo dynamické stabilizátory.



Obr. 1 Zakopaný těžící řetěz strojní čističky kolejového lože, zdroj: Ing. Vít Lojda, Ph.D. [3]

Samotné čištění kolejového lože začíná vykopáním šterku alespoň 300 mm pod ložnou plochu pražce a rozhrnutím pražce na délku okna 1,0 až 1,5 m. Následně je zakopán, vložen a spojen těžící řetěz, který je poté při práci veden pomocí lišty uložené v kolejovém loži. Za kontinuálního pohybu vpřed je nejprve přizvedáván kolejový rošt přibližně o 5 cm vzhůru, aby se oddělil od kolejového lože. Kamenivo je vytěženo rotujícím těžícím řetězem a je dopraveno na vibrační třídič. Vytríděné kamenivo se ukládá zpravidla zpět do kolejového lože, výzisk (tj. nevyhovující zrna a jiný odpad) je pomocí dopravníku ukládán do speciálních zásobníkových vozů MFS řazených buď před čističkou, nebo na sousední koleji.

Po dokončení práce strojní čističky je vyjmut těžící řetěz a kolejové lože je v místě rýhy doplněno kamenivem. U trasy, která byla strojní čističkou čištěna, je nutné následně upravit parametry GPK podbitím s doplněním chybějícího materiálu kolejového lože. [3]

Dnešní typy strojních čističek kolejového lože bývají zpravidla plnoprofilové, v minulosti se vyskytovaly čističky pro čištění za hlavami pražců. Hloubka čištění pod pražcem závisí na typu čističky, stejně tak šířku záběru, kterou u některých strojů lze ovlivnit bočním příhrnovacím křídlem.

2.2. Alternativní způsoby čištění kolejového lože

Provoz a přeprava strojních čističek kolejového lože není nejlevnější záležitostí. Ne ve všech případech se tak finančně vyplatí jejich užití, zároveň ne vždy je jejich použití dostatečně efektivní (viz kapitola 3). Proto existují alternativní způsoby čištění kolejového lože.

Nejčastější užívaná alternativa spočívá ve vytržení kolejového roštu, následném těžení materiálu kolejového lože silniční mechanizací a jeho odvozu. Nahrazeno může být buď kamenivem novým (v ČR častější), u větších staveb nad 5000 t kameniva se vyplatí zřízení recyklační linky. [3] V té proběhne odhlinění kameniva a následné drcení a třídění. Výstupem z recyklační linky jsou 3 druhy materiálu: odpad (podsítné z odhlinění), recyklovaná štěrkodrt' fr. 0/31,5 (možno užit např. do konstrukčních vrstev) a recyklovaná štěrkodrt' fr. 31,5/63, kterou je možné použít opět do kolejového lože.

Čištění kolejového lože je také zahrnuto v práci tzv. sanačních komplexů, což jsou soupravy k sanaci železničního spodku. Jejich součástí je i vůz s mycí a třídící jednotkou a vůz se síty a drtičem. Před soupravou je sunuto několik MFS vozů pro kumulaci výzisku, za soupravou je taženo několik kontejnerových vozů s novým materiálem pro kolejové lože a konstrukční vrstvy. Během kontinuálního pohybu soupravy je kolejové lože odtěženo, recyklováno a smíšeno s novým materiálem. Následně je znovu použito do kolejového lože nebo konstrukční vrstvy. Nevyhovující výzisk je transportován do vozů MFS.

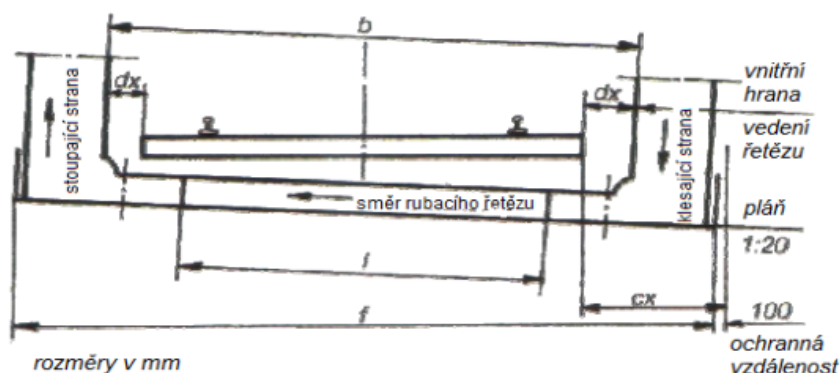
3. Čištění kolejového lože v komplikovaných místech železničních tratí

3.1 Stanice a zastávky s pevnou nástupní hranou

Jedním z komplikovaných míst čištění kolejového lože je prostor železničních stanic a zastávek s pevnou nástupní hranou. Použití strojních čističek je zde teoreticky možné, ale prakticky se tak většinou neděje. [7]

Pro následující příklad byla uvažována strojní čistička kolejového lože RM 79 a staniční nástupiště z prefabrikátů tvaru „L“ s předsazenou nástupní hranou. Standardní vzdálenost nástupní hrany od osy koleje je 1670 mm, v místě kolejového lože uvažujeme vzdálenost prefabrikátu od osy 1750 mm. [9]

Standardní délka betonového pražce B91 S/1 je 2600 mm, tedy 1300 mm na každou stranu od osy koleje. U stroje RM 79 je nutné zajistit prostor mezi vnější překážkou a hlavami pražců min. 700 mm v hloubce menší než 300 mm pod ložnou plochou pražce. [2] Tento prostor využívá sestupný žlab na jedné straně a vzestupný žlab na straně druhé. V našem případě je vzdálenost nástupištních prefabrikátů od hlavy pražců 450 mm. Moderní čističky mohou při průjezdu osu koleje dočasně vychýlit (standardně o cca 250 mm [5]), přesto však z důvodu podbetonování nástupištního prefabrikátu není potřebná minimální vzdálenost mezi vnější překážkou a hlavami pražců splněna. Tudíž v tomto případě by použití strojní čističky kolejového lože bylo možné pouze s podmínkou výrazné úpravy GPK podbitím před a následně po pojezdu čističky, tedy významné vychýlení celého kolejového roštu po dobu čištění, což je neefektivní, drahé a přináší to další komplikace (např. omezení či zastavení provozu na vedlejší koleji).

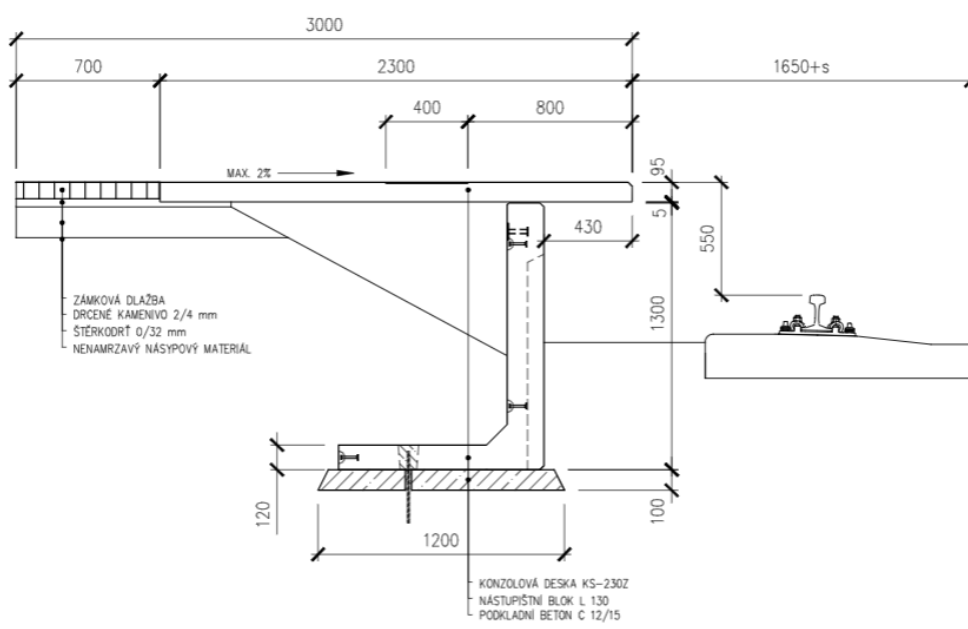


Délka lišty	Těžební šířka	Max. průch. šířka	Míry c_x a d_x při délce pražců x									
			2.200		2.300		2.500		2.600		2.700	
l	f	b	c_x	d_x	c_x	d_x	c_x	d_x	c_x	d_x	c_x	d_x
1.450	3.800	2.800	900	300	850	250	750	150	700	100	650	50
1.800	4.150	3.150	1075	475	1025	425	925	325	875	275	825	225
jeden mezikus 500mm rozšiřitelný												
rubací štíty rozšiřují těžební šířku o dalších 820 mm												

Obr. 2 Pracovní prostor těžícího zařízení strojní čističky RM 95-800, zdroj: Centrum telematiky a diagnostiky, SŽ [6]

Cílem příkladu bylo demonstrovat, že ve stanicích a zastávkách s pevnou nástupní hranou má čistička kolejového lože problémy spojené s jejími rozměry. V kolejích podél nástupišť s konzolovými deskami (typy „SUDOP“ a „L 130“) jsou tyto problémy zmenšeny. Díky jejich konstrukci a dočasnému odstranění konzolové desky po dobu čištění je navýšena vzdálenost hlavy pražců od pevné překážky až o 430 mm (typ „L 130“). [10] Původním záměrem

projektantů bylo navrhovat tyto typy nástupišť hlavně v zastávkách, právě z důvodu umožnění strojního čištění kolejového lože. [7]



Obr. 3 Nástupiště s bloky L130 s konzolovými deskami,
zdroj: ŽPSV a.s., Nástupiště – výběr produkce CZ/SK 2014 [9]

V případech, že se čistička do stanice či zastávky vejde, je potřeba zařídit, aby při práci nenapáchala více škody než užítku. Oproti širé trati se ve stanicích nachází spousta doprovodného vybavení, které při nedůkladné lokalizaci může být během čištění snadno poškozeno nebo zničeno. Jedná se o trativody, patky stožárů trakčního vedení nebo kabeláž (zabezpečovací zařízení, rozhlas atd.). Poškozena může být i samotná strojní čistička, čemuž se chtějí její provozovatelé vyhnout, a tak objeví-li se před čističkou nečekaná překážka, vždy je nutné provoz stroje zastavit a překážku ručně nebo za pomoci jeřábu odstranit. Teprve pak může práce čističky, s určitým časovým zdržením, pokračovat.

Dalším nepříjemným dopadem strojního čištění kolejového lože ve stanici nebo zastávce může být výrazné narušení příčných sklonů pod čištěnou kolejí, které následně negativně ovlivňuje funkčnost systému odvodnění. Důsledkem toho může být vznik zabláceného kolejového lože pod čištěnou kolejí, a to již v krátké době po provedení čištění. [7] Pro dlouhodobé a účelné odstranění těchto tzv. „blatáků“ není dostačující pouhé podbití koleje či opětovné přečištění kolejového lože. Je potřeba sanační zásah do konstrukce železničního spodku, vhodné je např. vložení geosyntetika. [3]



Obr. 4 Pohled na kolej v železniční stanici po průjezdu strojní čističky kolejového lože, při kterém došlo k narušení příčných sklonů a systému odvodnění, zdroj: Ing. Radek Vandrovec [7]

Ve stanicích a zastávkách se v praxi strojní čištění kolejového lože téměř nepoužívá, jelikož zde ztrácí svoji hlavní výhodu v podobě pracovní rychlosti. Její použití téměř vždy znamená nutnost oprav staničního vybavení, které je během čištění poškozeno nebo zničeno, a nasazení strojního čištění je tak ve finále kontraproduktivní. Dalším hlediskem, které je potřeba brát v potaz, je způsob řízení oprav stanic a zastávek v ČR, kdy oproti údržbovému čištění kolejového lože se častěji čeká na větší stavební zásah, během kterého je poté kolejové lože vyčištěno. V takovém případě je efektivnější použití alternativních způsobů čištění kolejového lože, obvykle způsobu odtěžení materiálu lože a jeho odvozu na recyklační linku. Do nového kolejového lože však bývá obvykle použit pouze materiál nový. [7]

3.2 Kolejová rozvětvení

Většina strojních čističek je schopna provádět čištění kolejového lože i ve výhybkách. Princip čištění je shodný jako v širé trati, hlavní rozdíl spočívá v rozšíření záběru těžícího zařízení ve výhybkách buď roztažením přihrnovacích pluhů, nebo vložím nastavovaného mezikusku těžícího řetězu (případně kombinací obojího). Nevýhodou jsou časové ztráty plynoucí právě z potřebných úprav stroje a nutnosti vykopání a zakopání těžícího řetězu před a za výhybkou. Obecně se toto řešení nevyplatí, jelikož po strojním čištění kolejového lože je nutné provést úpravu GPK podbíjením. Tím se obvykle rozhodí správný chod výhybky a výhybku je následně nutné opět seřídit, což znamená další časovou ztrátu.

Jelikož se většina výhybek nachází ve stanicích nebo jejich blízkosti, obvykle se čeká na větší stavební zásah celé stanice, během kterého je celá výhybka snesena z kolejového roštu a je provedena její regenerace. To znamená její rozdělení na část jazykovou, středovou a srdcovkovou, výměnu kolejnic ve středové části, výměnu kluzných stoliček v jazykové části a následné sestavení celé výhybky na nové pražce. [7] Současně s regenerací probíhá odtěžení materiálu kolejového lože silniční mechanizací a jeho odvoz na skládku, jelikož kolejové lože pod výhybkou je hodnoceno jako nebezpečný odpad a musí s ním být nakládáno podle zákona. [3] To je také další z nevýhod pro použití strojních čističek kolejového lože ve výhybkách, jelikož celý výzisk ve voze MFS by byl vlivem smísení s nebezpečným materiálem získaným z kolejového lože pod výhybkou znehodnocen s nemožností jeho recyklace.

3.3 Mostní objekty

U mostů s průběžným kolejovým ložem bývají při strojním čištění krom problémů s šířkou, které byly již zmíněny v kapitole o stanicích, také komplikace plynoucí z neznalosti přesné hloubky kolejového lože na mostě. V praxi to znamená, že buď je hloubka těžení příliš nízká a tím pádem je čištěna pouze část kolejového lože a čištění je neefektivní, anebo v horším případě je hloubka těžení příliš vysoká a je poškozena izolace mostního objektu a mostovka. [7]

Počet mostních objektů, podíl těch s průběžným kolejovým ložem a to, zda je možnost na nich kolejové lože strojně čistit, hraje důležitou roli při tvorbě harmonogramu prací na trati. Každý mostní objekt, u něž není z libovolného důvodu možné strojní čištění kolejového lože totiž znamená nutnost vykopání těžícího řetězu před a zakopání za mostním objektem. Pokud se v daném úseku vyskytuje větší množství těchto objektů, je potřeba zvážit, zda nasazení strojní čističky je v daném úseku smysluplné a přinese požadovaný efekt. Pokud se rozhodne o nasazení strojní čističky, je důležité u mostů s průběžným kolejovým ložem a nemožností strojního čištění naplánovat čištění kolejového lože odtěžením silniční mechanizací. To obvykle bývá řešeno separátně před zahájením strojního čištění celého úseku a souběžně s ním probíhá kontrola stavu mostu nebo propustku a oprava izolace. [7]

Nové mostní objekty s průběžným kolejovým ložem bývají obvykle navrženy tak, aby na nich bylo umožněno strojní čištění kolejového lože. Hloubka těžení bývá obvykle volena taková, aby nedošlo k poškození izolace nebo mostovky, je tedy akceptována o něco nižší kvalita čištění. A v případě nejistoty skutečné tloušťky kolejového lože využívají moderní čističky své schopnosti mírného přizvednutí kolejového roštu.

3.4 Železniční přejezdy

Železniční přejezdy nepatří k problematickým místům z pohledu komplikovanosti práce strojní čističky, ale spíše z pohledu tvorby harmonogramu a plánování stavby. V praxi jsou využívány dvě varianty, jak se s tímto místem vypořádat. [7]

První možností je rozebrání konstrukce přejezdu, tedy vnitřní a vnější desky a je-li to nutné, tak i vybourání závěrných zídek. Poté následuje pojezd strojní čističky kolejového lože. Ta za sebou zanechá kolejový rošt se značně vychýlenými parametry GPK a aby bylo možné opětovné složení konstrukce přejezdu, musí se vyčkat na pojezd podbíječky. Následně je železniční přejezd zkompletován, do té doby však nemůže být využíván silničními vozidly.

Druhou variantou je vyčištění kolejového lože před samotným začátkem strojního čištění trati. Konstrukce přejezdu je demontována a kolejový rošt je vytržen. Materiál kolejového lože je následně odtěžen silniční mechanizací a nahrazen materiálem novým. Je položen kolejový rošt, přejezd je zkompletován a je možné jej využívat silniční dopravou. Nevýhoda nastává během strojního čištění kolejového lože celé trasy, kdy je nutné před přejezdem čističku zastavit, vykopat těžící řetěz, popojet nezbytnou vzdálenost na konec přejezdu, znovu zakopat těžící řetěz a pokračovat v čištění. Každý železniční přejezd tak znamená 50 až 60 minut dlouhé zdržení.

4. Závěr

Strojní čističky kolejového lože jsou speciální kolejové stroje, které se vyznačují vysokou kvalitou a rychlostí práce. Vysoké efektivity práce dosahují zejména v širé trati vedené na zemní pláni s minimem pevných překážek. Už při plánování rekonstrukce je nutné přemýšlet o vhodnosti jejich nasazení, jelikož ne na všech místech železniční trati je jejich použití vhodné a jejich práce pak může být kontraproduktivní.

Mezi důležité faktory, které je vhodné uvážit před nasazením strojních čističek, patří množství časových ztrát způsobených opakovaným vykopáváním a zakopáváním těžícího řetězu, riziko poškození okolních překážek i samotné čističky, nakládání s výziskem (zejména s materiálem pod výhybkami) a vliv práce čističky na železniční provoz i na jiné druhy dopravy, zejména silniční.

V praxi si stavební společnosti uvědomují všechna výše zmíněná rizika a v dominantní většině případů řeší čištění kolejového lože v komplikovaných místech železniční trati alternativními způsoby.

Literatura

- [1] Čištění kolejového lože jako prostředek kvalitní údržby železničního svršku. Filip, Ing. Emil. 2018. Ústí nad Labem : Železniční dopavní cesta, 2018.
- [2] GJW Praha, s.r.o. Strojní čistička kolejového lože RM 79. [Online] [Citace: 20.. květen 2022.] www.gjw-praha.cz.
- [3] Lojda, Vít. 2022. Železniční stavby 3D. Výukové materiály. Praha : ČVUT v Praze, 2022.
- [4] Správa železnic, s.o. 2019. Předpis SŽDC S3. Železniční svršek. Praha : autor neznámý, 2019.
- [5] Strojní čistička šterkového lože RM 79. Centrum telematiky a diagnostiky. 2019. Praha : Správa železnic, s.o., 2019, Sv. Příloha I/12 k SŽDC (ČD) S 8/3.
- [6] Strojní čistička šterkového lože s propíracím modulem a přísunem nového šterku RM 95-800. Centrum telematiky a diagnostiky. 2014. Praha : Správa železnic, s.o., 2014, Sv. Příloha I/6 k SŽDC (ČD) S8/3.
- [7] Vandrovec, Ing. Radek. 2022. Technik kolejových staveb. místo neznámé : Chládek a Tintěra Pardubice a.s., 18.. květen 2022.
- [8] Zemanová, Tereza. 2017. Hodnocení granulometrického znečištění kolejového lože ve vztahu k recyklaci. Bakalářská práce. Praha : ČVUT v Praze, 2017.
- [9] ŽPSV, a.s. 2013. Nástupiště 2013/2014. Výběr z produkce CZ/SK. Uherský Ostroh : Oddělení techniky a technologie, 2013.
- [10] ŽPSV, a.s. 2015. Nástupiště TISCHER a SUDOP. Montážní návod. Uherský Ostroh : autor neznámý, 2015.

Poděkování

Za poskytnutí cenných informací z oblasti realizace železničních staveb autor děkuje Ing. Radkovi Vandrovci, technikovi kolejových staveb ve společnosti Chládek a Tintěra, Pardubice, a.s. Dále autor děkuje Ing. Vítu Lojdovi Ph.D. za vedení seminární práce, ze které tento příspěvek vychází.

Ojetí mělkých tramvajových srdcovek

Ing. Magdalena Křečková¹, Ing. Ondřej Bret²

Fakulta stavební ČVUT v Praze

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

e-mail_1: magdalena.kreckova@fsv.cvut.cz,

e-mail_2: ondrej.bret@@fsv.cvut.cz

Abstrakt

V článku je prezentován vývoj ojetí mělké srdcovky v tramvajové síti. Tento vývoj byl sledován v rámci projektu „Dlouhodobý monitoring kolejových konstrukcí u tramvajových křižovatek se zaměřením na mělké srdcovky za účelem optimalizace jejich údržby a snížení hluku“, který byl řešen za podpory Technologické agentury České republiky v rámci programu Zéta (reg.č. projektu TJ04000257) ve spolupráci se společností Pražská strojírna a.s. a v kooperaci s Dopravním podnikem hl.m. Prahy.

Klíčová slova

Mělká srdcovka, hluboká srdcovka, ojetí.

Wear of the shallow-grooved crossing

Abstract

The article presents evolution of wear of the shallow-grooved crossing. Evolution of wear of the shallow-grooved crossing was being monitored during the project “Long-Term Monitoring of Rail Structures in Tramway Crossings with a Focus on Shallow-Grooved Crossings Aimed at the Optimization of their Maintenance and Noise Reduction”, which was running with support from the Technology Agency of the Czech Republic within the Zéta Project (project registration No. TJ04000257). The project was elaborated jointly with Pražská strojírna a.s. Company in cooperation with the Prague Public Transit Company.

Keywords

Shallow-grooved crossing, deep-grooved crossing, wear.

1. Úvod

Kolejové konstrukce umístěné v tramvajových křižovatkách jsou součástí tramvajových tratí a jsou namáhány průjezdem tramvajových vozidel. Namáhání způsobuje ojetí kolejnic a žlábků. V rámci projektu byly monitorovány vybrané srdcovky, u kterých byl sledován průběh ojetí. Během monitoringu srdcovek byly zjištěné charakteristické znaky ojetí a typické deformace vzniklé vlivem provozu. Vývoj ojetí i vzniklých deformací je závislý především na geometrii srdcovek a velikosti zatížení srdcovek. Vývoj ojetí je doložen fotodokumentací, případně výsledky z měření měřicím přístrojem Contour II., kterým byly jednotlivé srdcovky monitorovány (byl snímán povrch srdcovek, vč. tvaru kolejnic). V příspěvku je prezentována jedna ze základních deformací srdcovek, a to je ojetí žlábků.

2. Vymezení pojmů

Pro lepší porozumění článku a zmíněných jevů je nutné vymezit užívané pojmy.

Mělká srdcovka (srdcovka s mělkým žlábkem) – srdcovka se sníženou hloubkou žlábků tak, že při průjezdu kola přes srdcovku okolek záměrně jede nějakou dobu po dnu žlábků. [1], [2]

Hluboká srdcovka (srdcovka s hlubokým žlábkem) – srdcovka s takovou hloubkou žlábků, že je pojížděna výhradně po temeni srdcovky (bez vzájemného doteku okolku a dna žlábků). [1], [2]

Jednotlivé tramvajové provozy v rámci ČR se liší geometrií profilu kola. Proto není přesně definována hloubka žlábků pro mělkou a hlubokou srdcovku. Vývoj deformací byl sledován na srdcovkách v rámci tramvajové sítě Dopravního podniku hl. m. Prahy, kde mají mělké srdcovky hloubku žlábků 14 mm, a kde se používá jízdní profil kola PR-K se šířkou 86 mm.

3. Ojetí žlábků

Vývoj ojetí srdcovky je především závislý na geometrii srdcovky a je přímo úměrný s velikostí zatížení. Dle geometrie srdcovky lze tuto deformaci rozdělit na 2 typy:

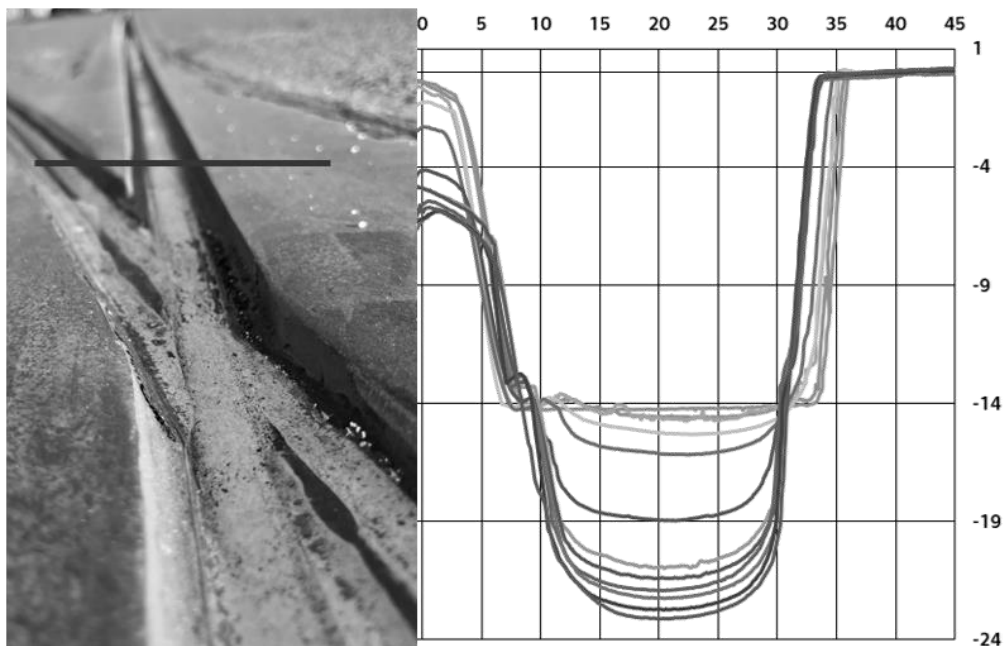
- ojetí žlábků;
- dvojžlábek.

Vzhledem k rozsahu článku bude podrobně rozebráno pouze ojetí žlábků, nikoliv vznik dvojžlábků.

Ojetí žlábků vzniká vlivem pojíždění dna žlábků okolkem při průjezdu vozidla přes srdcovku. Velikost ojetí je závislé především na zatížení srdcovky (počet průjezdů přes srdcovku) – čím větší zatížení, tím větší je ojetí/prohloubení žlábků. V případě, že dochází pouze k prohlubování žlábků (k úbytku materiálu ze dna žlábků – k ojetí), je tato deformace charakteristická pro žlábků v přímém směru (popř. pro žlábků v oblouku s velkým poloměrem). Materiál na dně žlábků je jednak hutněn, ale také částečně dochází k jeho vytlačování do stran

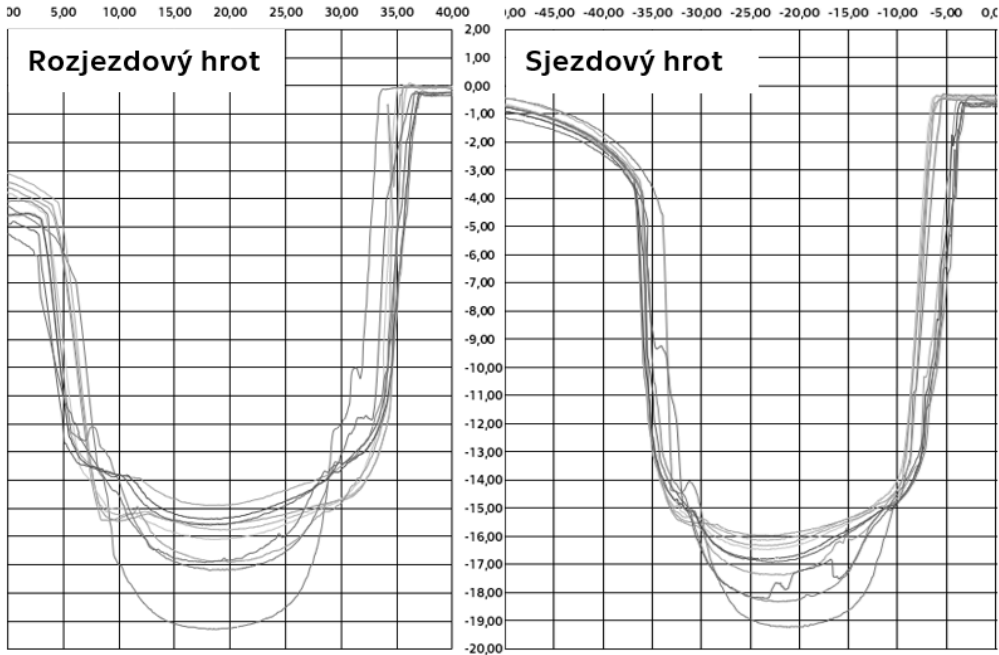
žlábků. Materiál, který je vytlačován do stran žlábků, může vytvářet subtilní třísky a převalky, které se vlivem provozu mohou odlamovat.

Ojetý žlábek je zobrazen na následujícím obrázku (obr. 1). V pravé části obrázku je znázorněno ojetí na části grafu z dat naměřených měřicím přístrojem Contour II. V levé části obrázku je na fotografii znázorněna příslušná srdcovka s vyznačeným místem, ve kterém se nachází příčný profil zobrazený v pravé části obrázku.



Obr. 1 Zobrazení vývoje ojetí žlábků, hodnoty uvedeny v [mm]. Na grafu zobrazující vývoj ojetí (jednotlivé křivky znázorňují časový vývoj ojetí) je patrné, že jednak dochází k prohlubování žlábků, ale také k vytvoření subtilního převalků. Převalky vznikají vytlačováním materiálu do stran žlábků.

Během monitoringu bylo vyzorováno, že výškové ojetí žlábků v oblasti rozjezdového hrotu je větší než výškové ojetí u sjezdového hrotu téže srdcovky, tzn. je zde stejný počet průjezdů vozidel. To je způsobeno dynamickým namáháním v oblasti rozjezdového hrotu. Na následujícím obrázku (obr.2) je zobrazeno porovnání výškového ojetí žlábků u rozjezdového a sjezdového hrotu téže srdcovky. Z obrázku (obr.2) je patrné, že u žlábků u rozjezdového hrotu došlo k ojetí 4,2 mm (z hloubky žlábků 15 mm na hloubku žlábků 19,2 mm). Za stejné období a při stejné zátěži došlo u žlábků u sjezdového hrotu k ojetí pouze 3,4 mm (z hloubky žlábků 16 mm na hloubku žlábků 19,4 mm).



Obr. 2 Porovnání výškového ojetí přímého žlábků v oblasti rozjezdového a sjezdového hrotu těže srdcovky.

Výškové ojetí je patrné i u žlábků v oblouku, kde je spojováno s dalšími deformacemi (vzniká tzv. dvojžlábek), které nejsou v tomto příspěvku popsány vzhledem k jeho rozsahu.

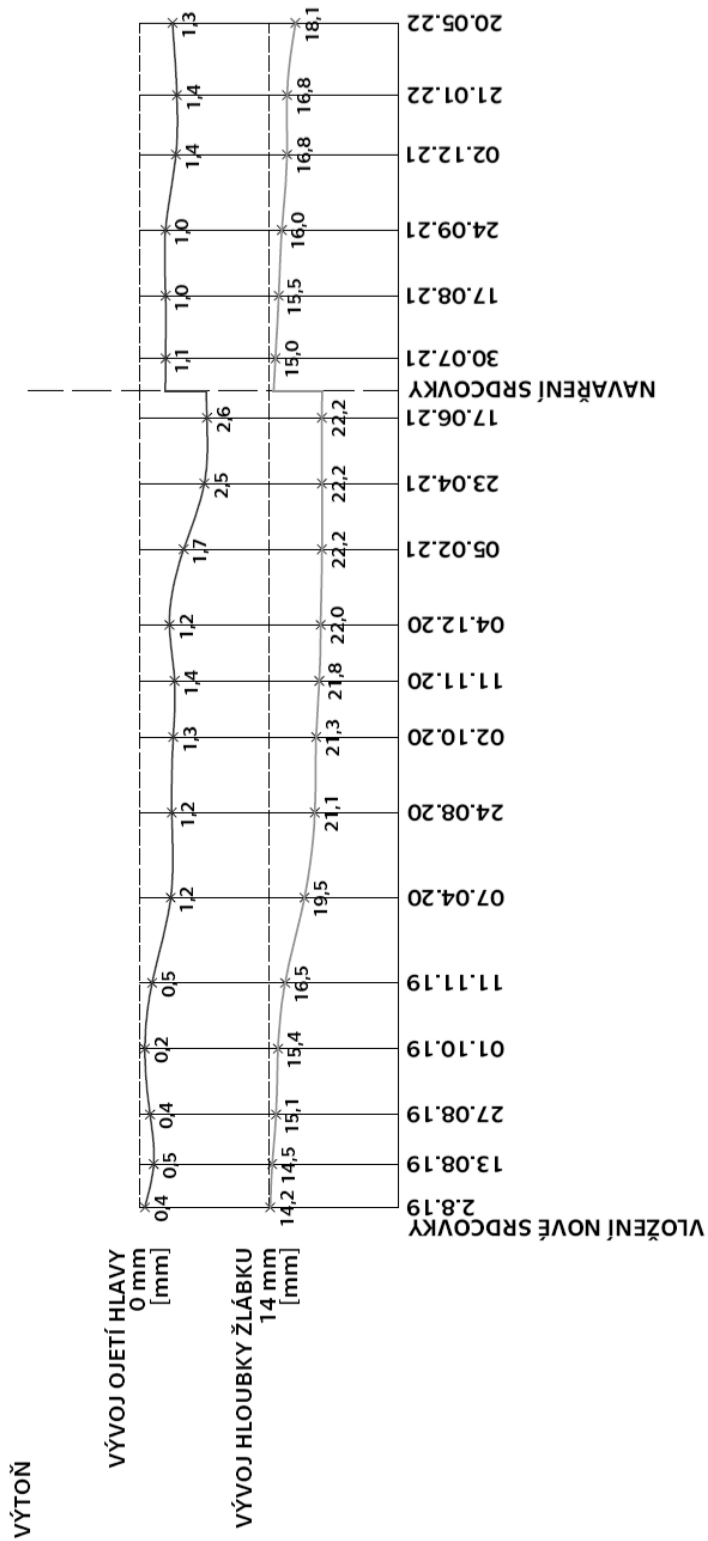
3.1 Vliv prohloubení žlábků na údržbu srdcovky

Vlivem neustálého prohlubování mělkého žlábků dochází ke změně kontaktní plochy mezi kolem a srdcovkou. Tím, že se žlábek prohlubuje, se začíná z mělké srdcovky postupně stávat srdcovka hluboká. Postupem času se zvětšující se hloubkou žlábků již není srdcovka pojížděna po dně žlábků, ale kontaktní plocha se postupně přesouvá na hlavu srdcovky, čímž je charakteristická hluboká srdcovka. Následně dochází k ojetí hlavy srdcovky. Když je hlava srdcovky dostatečně ojetá, opět dochází k prohloubení žlábků do hodnoty, kdy se opět začne ojíždět hlava srdcovky. Cyklicky se tedy střídá ojetí žlábků a hlavy srdcovky.

Teto jev je samozřejmě v provozu nežádoucí, protože geometrie srdcovky není přizpůsobena pojezdu kola přes povrch srdcovky a hlava srdcovky by vůbec ojetá být neměla.

Když dojde k prohloubení žlábků na takovou hodnotu, že z mělké srdcovky se stává hluboká, dochází k údržbě srdcovky. Údržbou srdcovky dojde k přerušení cyklu ojíždění dna žlábků a hlavy srdcovky. Údržba srdcovky probíhá navařením materiálu na dno žlábků a dojde ke zmenšení hloubky žlábků. Následně je navařený materiál přebroušen, aby došlo k zahlázení návarových housenek.

Na následujícím obrázku (obr. 3) je zobrazen vývoj ojetí srdcovky spolu s ojetím hlavy srdcovky. Je patrné, že po jisté době dojde k ustálení ojetí žlábků srdcovky (dále se žlábků již neprohlubuje) a začne se ojíždět hlava srdcovky. V tomto okamžiku je provedeno navaření nového materiálu srdcovky (na hloubku žlábků přibližně 14 mm) a následně se celý cyklus opakuje.



Obr. 3 Vývoj hloubky žlábků a vývoj ojetí hlavy srdcovky.

4. Závěr

Životní cyklus srdcovky je popsateľný 2 fázemi. V první fázi dochází k prohlubování žlábků srdcovky. Prohlubování pokračuje až do okamžiku, kdy okolek již nemůže pojíždět dno žlábků (hloubka žlábků je větší než výška okolku). Následně je srdcovka pojížděna jízdni plochou kola po temeni srdcovky a dochází k ojetí křídlovek srdcovky, čímž je charakteristická hluboká srdcovka. Z mělké srdcovky se stává postupně hluboká, což je v provozu nežádoucí. V této situaci by mělo dojít k údržbě srdcovky navařením nového materiálu na dno žlábků. Po údržbě srdcovky se celý cyklus opakuje.

Stanovení doby, za kterou je 1 cyklus ojetí srdcovky u konce a mělo by dojít k navaření srdcovky, je závislé na zatížení srdcovky. U každé srdcovky je doba ukončení cyklu individuální, protože je závislá nejen na velikosti zatížení, ale také na typu vozidla, které přes srdcovku projíždí (rozdíly v počtu náprav apod.). Blíže budou tyto výsledky uvedeny v publikaci s výsledky projektu.

Literatura

- [1] KŘEČKOVÁ, M.: Monitoring vybraných tramvajových srdcovek. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Bakalářská práce. 2020
- [2] BRET, O., KŘEČKOVÁ, M.: Dlouhodobý monitoring stavu tramvajových srdcovek a vývoj jejich opotřebení. In: Sborník přednášek semináře pořádaného VOŠ a SPŠ Děčín ve dnech 16. a 17. března 2022. Děčín: Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola strojní, stavební a dopravní, 2022. p. 66-72. ISBN 978-80-905733-8-3.
- [3] ŠUROVSKÝ, J.: Vztah kolo-kolejnice u tramvají. DP-kontakt [online] Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2009 [Cit:2.9.2022]. Dostupné na vyžádání u DPP
- [4] ZELENKA, J., KOHOUT, M.: Vztah kolo-kolejnice v podmínkách tramvajového provozu, 46. zasedání odborné skupiny tramvajové tratě, Sdružení dopravních podniků ČR [přednáška]. Plzeň: 21.11.2012. Dostupné online: <https://docplayer.cz/34692854-Vztah-kolo-kolejnice-v-podminkach-tramvajoveho-provozu.html> [Cit: 20.5.2022]
- [5] Dopravní a návěstní předpis pro tramvaje D1/2. Interní předpis. 3. novelizované vydání. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2012.

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za podpory projektu „Dlouhodobý monitoring kolejových konstrukcí u tramvajových křižovatek se zaměřením na mělké srdcovky za účelem optimalizace jejich údržby a snížení hluku“, který byl řešen za podpory Technologické agentury České republiky v rámci programu Zéta (reg.č. projektu TJ04000257) ve spolupráci se společností Pražská strojírna a.s. v kooperaci s Dopravním podnikem hl.m. Prahy.

Bezpečnost na železnici

Ing. Bc. Jan Kruntorád¹, doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D.²

ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů

Konviktská 20, 110 00, Praha 1 – Staré Město

e-mail_1: kruntjan@fd.cvut.cz

e-mail_2: tyfal@fd.cvut.cz

Abstrakt

Železnice je vnímána jako moderní, bezpečný a ekologicky udržitelný způsob přepravy osob i zboží. V minulosti se vhodnými inovacemi v oblasti infrastruktury a vozidel (vč. zabezpečovacích a řídicích systémů) v kombinaci s atraktivní provozní koncepcí postupně stala páteří veřejné dopravy i v ČR. I v tomto systému, podobně jako v ostatních dopravních systémech, existují mimořádné události nebo potenciálně rizikové situace. Příspěvek zasazuje problematiku železniční bezpečnosti do legislativního kontextu a odkrývá úhly pohledu, kterými lze na bezpečnost železničního provozu nahlížet. Vychází při tom ze Studie bezpečnostní problematiky v železničním sektoru z roku 2022, zpracovanou pro Správu železnic, státní organizaci.

Klíčová slova

Bezpečnost, klíčový hráč, mimořádná událost, Vize 0, železniční sektor.

Railway Security and Safety

Abstract

The railway is perceived as a modern, safe and environmentally sustainable way of transporting people and goods. In the past, appropriate innovations in the field of infrastructure and vehicles, combined with an attractive operational concept, gradually became the backbone of public transport in the country. Even in this system, similar to other transport systems, there are accidents (events of emergency) or potentially risky situations. The article places the issue of railway safety in the legislative context and uncovers the points of view from which the safety of railway traffic can be viewed.

Keywords

Key stakeholder, Rail sector, Railway emergency, Safety, Security, Vision 0.

1. Úvod

Příspěvek představuje vybrané pasáže Studie bezpečnostní problematiky v železničním sektoru, která byla dokončena v roce 2022 na ČVUT v Praze Fakultě dopravní se zapojením expertů z dalších fakult ČVUT v Praze (Fakulty stavební a Fakulty strojní) a z Univerzity obrany (Fakulty vojenského leadershipu a Fakulty vojenského zdravotnictví) [1].

Zaměření studie se týká bezpečnostní problematiky z pohledu mimořádných událostí a implementace koncepce Vize 0 do železničního sektoru se zaměřením na železniční dopravní cestu (s částečným přesahem na vozidla, řízení dopravy a také na dopravní a přepravní procesy).

2. Vize 0

Myšlenka Vize 0 byla poprvé představena ve Švédsku v roce 1995. Principiálně se jedná o inovativní přístup k problematice bezpečnosti silničního provozu. Klade si za jednoznačný cíl dosáhnout stavu, kdy nebude docházet k žádným incidentům s fatálními následky na zdraví přímých nebo nepřímých účastníků těchto událostí, základní premisou Vize 0 je výrok „**Chyby nesmějí být trestány smrtí**“.

Koncepce Vize 0 zásadním způsobem mění původní způsob pohledu na odpovědnost za bezpečnost silničního provozu. Ten není zaměřen jen na individuálního účastníka silničního provozu, ale na všechny klíčové hráče, resp. na systém jako na jeden celek. Ti, kdo navrhují dopravně bezpečnostní systém a jeho jednotlivé prvky, nesou hlavní odpovědnost za finální úroveň bezpečnosti silničního provozu. Tuto odpovědnost společně sdílejí výrobci vozidel, dopravci, správci komunikací, politici, zákonodárci, zaměstnanci veřejného sektoru či složky integrovaného záchranného systému. To však v žádném případě nezbavuje odpovědnosti samotné účastníky provozu na pozemních komunikacích. Odpovědností každého jednotlivce je řídit se dle příslušných ustanovení právních předpisů. V konečném důsledku se jedná o diametrální změnu v nahlížení na dopravní nehodu, která již není pokládána za následek individuálního selhání účastníka silničního provozu, ale naopak za selhání celého systému [2].

V současné době je myšlenka Vize 0 v ČR součástí Strategie rozvoje inteligentních dopravních systémů 2021–2027 s výhledem do roku 2050 vydané Ministerstvem dopravy ČR [3] a její cíle jsou implementovány do Strategie BESIP 2021–2030 [4].

2.1. Aplikace Vize 0 na železnici

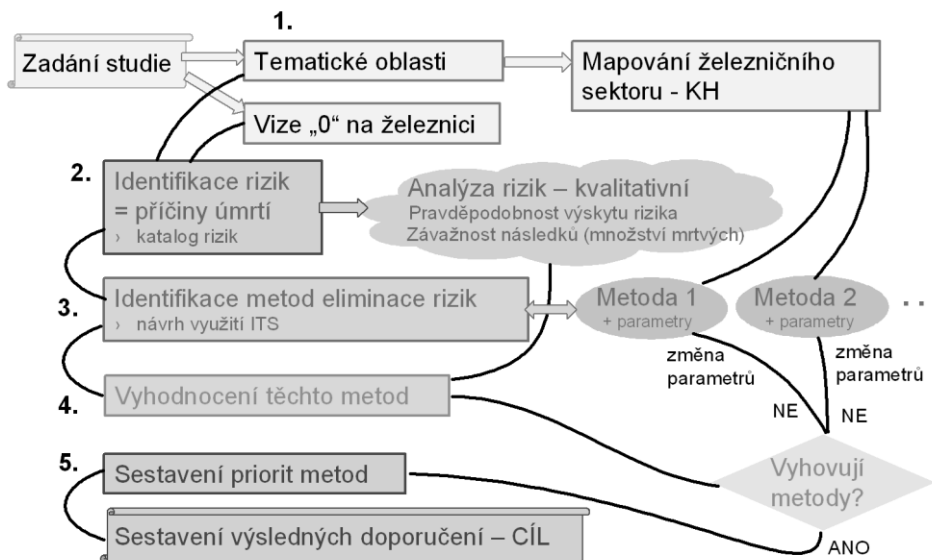
Železnice je vnímána jako moderní, bezpečný a ekologicky udržitelný způsob přepravy osob i zboží. V minulosti se vhodnými inovacemi v oblasti infrastruktury a vozidel (vč. zabezpečovacích a řídicích systémů) v kombinaci s atraktivní provozní koncepcí postupně stala páteří veřejné dopravy i v ČR. I v tomto systému, podobně jako v ostatních dopravních systémech, existují mimořádné události nebo potenciálně rizikové situace. Cílem Studie bezpečnostní problematiky v železničním sektoru [1] je odpovědět na některé otázky týkající se problematiky bezpečnosti na železnici ve vztahu k naplňování Vize 0 tak, aby železniční systém posiloval své postavení páteřního dopravního systému v ČR, který bude implementovat nejmodernější technologické trendy za účelem zvyšování konkurenceschopnosti železnice oproti jiným druhům dopravy, komfortu cestování a v neposlední řadě také bezpečnosti.

3. Metoda řešení

První krok představuje úvodní analýzu, jež připravuje podmínky pro nastavení další práce. Jsou definovány **tematické oblasti bezpečnosti** na železnici a identifikovány **kategorie klíčových hráčů**.

Druhý krok obsahuje další analytickou část studie, konkrétně se zaměřuje na **identifikaci a ohodnocení rizik**. Vzniká tak katalog rizik, jenž identifikuje osoby, které mohou v souvislosti s dopravně-přepravním procesem na železnici zahynout, a místa/činnosti, kde a kdy mohou zahynout. Katalog obsahuje 14 skupin rizik na první hierarchické úrovni, celkem pak 79 rizikových faktorů (RF). Samotné příčiny rizik jsou z pohledu pravděpodobnosti výskytu rizika a závažnosti následků ohodnoceny expertní kvalitativní analýzou, díky čemuž je možné sestavit pořadí významnosti jednotlivých rizik. Zvolená metoda hodnocení vychází z analýzy rizik typu FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), původně vyvinuté odborníky NASA. Kvalitativní hodnocení využívá předem definované stupnice hodnot (kvalitativní třídy), v tomto případě 0 až 4. Dílčí hodnocení jednotlivých expertů bylo následně za účasti celého týmu převedeno na konsenzuální hodnoty. Výstupní hodnotící kritérium představuje tzv. **rizikové číslo RPN** (*Risk Priority Number*), které se pro každé identifikované riziko spočte jako součin hodnocení pravděpodobnosti vzniku daného rizika a hodnocení závažnosti jeho následků. Pro převod mezi stupnicí hodnot a hodnocením pravděpodobnosti nebo závažnosti byla použita nelineární stupnice.

Třetí krok přináší první návrhy týkající se **nalezení metod vedoucích ke snížení rizik**. Metody jsou ve zpracovatelských týmech expertně hledány a prezentovány jako konkrétní opatření ke konkrétním rizikům. V této fázi jsou formulovány možné příležitosti odstranění či zmírnění rizik včetně „high-level opatření“, vazby na klíčové hráče, vztah k zadavateli studie (Správa železnic, státní organizace) i odhad časové náročnosti.



Obr. 1 Schematický postup řešení studie. Zdroj: [1]

Čtvrtý krok uvádí **vyhodnocení zvolených metod snížení rizika**, které spočívá v konzultaci zvolených metod s klíčovými hráči, dále ve vzájemném konsenzu mezi experty řešitelského týmu a také v konzultacích se zadavatelem (kdy např. dochází k upřesnění, které z metod již zadavatel využívá nebo na jaké úrovni rozpracovanosti se je chystá využívat).

Pátý krok představuje závěrečnou návrhovou část. Je **sestaveno pořadí významnosti výsledných opatření** a navržen doporučený časový harmonogram implementace/realizace.

4. Tematické oblasti řešení

„Bezpečnost na železnici“ je relativně širokým pojmem, proto byla řešitelským týmem blíže rozčleněna následovně:

- škody na zdraví a majetku vlivem dopravního procesu (safety);
- odolnost proti protiprávnímu jednání (security);
- kybernetická bezpečnost;
- odolnost proti živelným pohromám;
- chemické a biologické hrozby.

5. Kategorie klíčových hráčů

S ohledem na kompletní pokrytí celého železničního systému byla provedena klasifikace subjektů na železnici následovně:

- státní správa a samospráva (včetně podřízených složek a organizací);
- vlastníci a provozovatelé železničních drah;
- železniční dopravci;

- zákazníci dopravců a poskytovatelé specifických služeb dopravcům a provozovatelům drah;
- lidský faktor v železniční dopravě;
- investoři, výrobci, dodavatelé a zhotovitelé infrastruktury a vozidel,
- výrobci, dodavatelé a provozovatelé IT a ITS systémů;
- subjekty zajišťující dodávky silové elektřiny (trakční i netrakční);
- vědecko-výzkumné a zkušební instituce;
- mezinárodní instituce;
- dotčené subjekty z ostatních druhů dopravy.

6. Závěr

Příspěvek se zaměřil zejména na naplnění Vize 0, tedy snížení množství usmrcených osob, na železnici. To je na základě citované studie možné činit postupnými kroky formou zajišťování potřebných opatření pro snížení rizik, která je možné řešit v krátkodobém, střednědobém i dlouhodobém horizontu. Některá opatření jsou závislá na legislativě, některá je nutné řešit v koordinaci se státní správou, ale i s dopravci, dodavateli technologií na železnici a dalšími klíčovými hráči tak, aby bylo možné postupně naplňovat cíle Vize 0.

Literatura

- [6] TICHÝ, Tomáš, Luboš NOUZOVSKÝ a kol. *Studie bezpečnostní problematiky v železničním sektoru*. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní. Praha, 2022.
- [7] Bezpečně na silnicích o.p.s. *Vize nula*. [online], cit. 20. 1. 2022. Dostupné z: <https://www.vize-nula.cz/>
- [8] Ministerstvo dopravy ČR. *Akční plán rozvoje inteligentních dopravních systémů (ITS) v ČR do roku 2020 (s výhledem do roku 2050)*. 2015. [online], cit. 15. 8. 2022. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/getattachment/Dokumenty/Strategie/ITS/Akcni-plan-rozvoje-inteligentnich-dopravnich-syste/Akcni-plan-rozvoje-ITS-prilohy.zip.aspx>
- [9] Ministerstvo dopravy ČR. *Strategie BESIP 2021–2030*. [online], cit. 15. 8. 2022. Dostupné z: <https://www.ibesip.cz/Produktory/Narodni-strategie-BESIP/Aktualni-strategie>

Laboratorní hodnocení míry znečištění kolejového lože pomocí georadaru

Bc. Filip Graman¹, Ing. Vít Lojda, Ph.D.², Ing. Leoš Horníček, Ph.D.³

Fakulta stavební ČVUT v Praze

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

e-mail_1: filip.graman@fsv.cvut.cz

e-mail_2: vit.lojda@cvut.cz

e-mail_3: leos.hornicek@cvut.cz

Abstrakt

Příspěvek se zabývá údržbou konstrukce železničního svršku se zaměřením na vyhodnocení znečištění kolejového lože. Stávající metoda stanovení znečištění kameniva v tratích Správy železnic, s.o., spočívá v provedení série kopaných sond s odběrem vzorků, které jsou následně podrobeny laboratornímu síťovému rozboru pro vyhodnocení znečištění. Provádění kopaných sond je však časově a fyzicky náročné, vyžaduje zavedení výluky koleje a poskytuje jen bodový průzkum v místech provedených sond. V současné době je prověřována možnost hodnocení znečištění kolejového lože pomocí georadaru, který je u Správy železnic již zaveden pro provádění diagnostiky železničního spodku. Obsahem příspěvku jsou výsledky z laboratorního stanovení znečištění kameniva provedeného síťovou metodou za současného sledování kameniva pomocí georadaru tak, aby mohla být odhadnuta závislost mezi oběma pozorováními kameniva. Aplikace výsledků se předpokládá při budoucím kontinuálním sledování kolejového lože v železniční trati georadarem instalovaným na měřicím voze.

Klíčová slova

Kamenivo, kolejové lože, znečištění kolejového lože, georadar, permitivita.

Laboratory evaluation of railway ballast fouling level using ground-penetration radar

Abstract

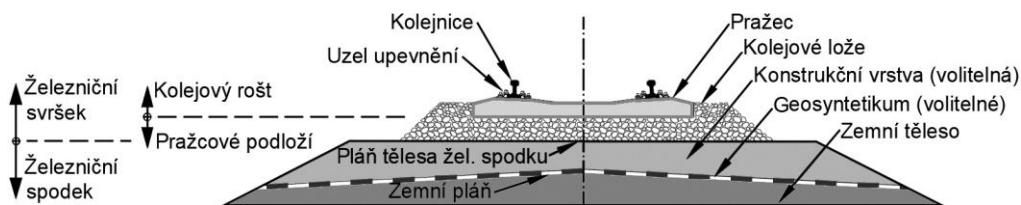
This paper deals with the maintenance of the track superstructure with a focus on the evaluation of the fouling of the ballast bed. The contemporary method of determining the fouling of aggregates in lines of Správa železnic, s.o., consists in carrying out a series of excavation holes and sampling, which are subsequently subjected to a laboratory sieve test to evaluate the fouling. However, the implementation of excavation holes is time- and physically demanding, requires a track possession and provides only a spot survey in the locations of the holes. Currently, the possibility of assessing the fouling of the ballast bed using ground-penetrating radar, which is already applied at Správa železnic for performing diagnostics of the railway substructure, is being examined. The content of the paper is the results from the laboratory determination of aggregate fouling carried out by the sieve test with the simultaneous monitoring of ballast using radar so that the relation between both observations of aggregates can be estimated. Application of the results is assumed in the future continuous monitoring of the track bed in the railway line with a radar installed on an inspection car.

Keywords

Aggregate, railway ballast, ballast fouling, georadar, permittivity.

1. Úvod

Kolejové lože je součástí klasické konstrukce železničního svršku (obr. 1), která zajišťuje stabilní polohu kolejového roštu. Kolejové lože přenáší zatížení na pláň tělesa železničního spodku a jeho pružnou deformaci pod zatížením částečně tlumí jeho účinky. Mezi další funkce kolejového lože patří propustnost, kterou je zajištěno odvodnění, a zamezení růstu vegetace v konstrukci železniční trati. Kolejové lože plní výše jmenované funkce za předpokladu použití kvalitního kameniva, jeho vhodné frakce a provádění údržby za účelem odstranění znečištění kameniva v průběhu jeho životnosti.



Obr. 1 Schéma konstrukce železniční trati

Právě včasnou detekcí znečištění s následným provedením údržby lze uvedené funkce kolejového lože zachovat a také předcházet rozvoji vad v konstrukci železniční trati [1, 2]. Původ znečištění kolejového lože, které negativně ovlivňuje jeho funkce, spočívá jednak v působení cyklického zatížení kameniva od dopravy, jehož účinky způsobují změnu frakce kameniva prostřednictvím rozpadu zrn, a jednak může být kolejové lože znečištěno kontaminací zeminou z pražcového podloží, zanášením vegetací, spadem přepravovaného nákladu, úkapy provozních kapalin vlaků a kombinací zmínovaného.

Znečištění kameniva se hodnotí dle jeho výsledků ze síťové zkoušky, které jsou posouzeny podle požadavků v normě ČSN EN 13450 *Kamenivo pro kolejové lože* [3]. Požadavky jsou založeny na podílu zrn frakce do 22,4 mm.

Znečištění kolejového lože se eliminuje nasazením čističky kolejového lože nebo jeho úplným odtěžením, před kterým je však potřeba nejprve lože diagnostikovat a vyhodnotit jeho kvalitu. Hodnocení znečištění kolejového lože se provádí odběrem vzorků z kopaných sond prováděných v pravidelných vzdálenostech, ze kterých je provedena síťová zkouška. Je to metoda nekontinuální, časově náročná a z hlediska přístupu k trati (omezení provozu, bezpečnost), komplikovaná.

Oproti stanovení znečištění kameniva metodou kopaných sond je předmětem probíhajícího výzkumu kontinuální nedestruktivní metoda s použitím georadaru (GPR, Ground Penetrating Radar). GPR využívá elektromagnetický signál s frekvencí mezi 400 MHz a 2 GHz, u kterého je sledována rychlost jeho pronikání skrz sledované prostředí. Sledování trati s použitím GPR umožňuje lokalizaci a přibližné vyhodnocení míry znečištění kolejového lože. Na národní úrovni je GPR zaveden pro diagnostiku železničního spodku, ale v oblasti kolejového lože není známý žádný výzkum,

který by se použitím GPR komplexně zabýval, vyjma rozsáhlé rešerše a měření provedeného na Univerzitě Pardubice, kterému se ve své závěrečné práci věnovala Borkovcová [3]. Hodnocením znečištění kolejového lože ve vztahu k recyklaci kameniva se ve své závěrečné práci také zabývala Zemanová [4] na ČVUT v Praze, která stav znečištění kameniva hodnotila síťovou zkouškou.

Dále se výzkumem zabýval Graman ve své bakalářské práci [5], na jejímž základě je připraven tento příspěvek, který prezentuje výzkum cílený na použití GPR při hodnocení znečištění kolejového lože tak, aby GPR mohl být v budoucnu aplikován pro sledování znečištění kameniva při jízdě měřicího vozu. Výzkum je prováděn ve dvou samostatných fázích, a to ve fázi laboratorní, na kterou se zaměřuje tento příspěvek, a ve fázi in-situ v rámci vybraných úseků železničních tratí.

2. Laboratorní sledování kameniva kolejového lože pomocí georadaru

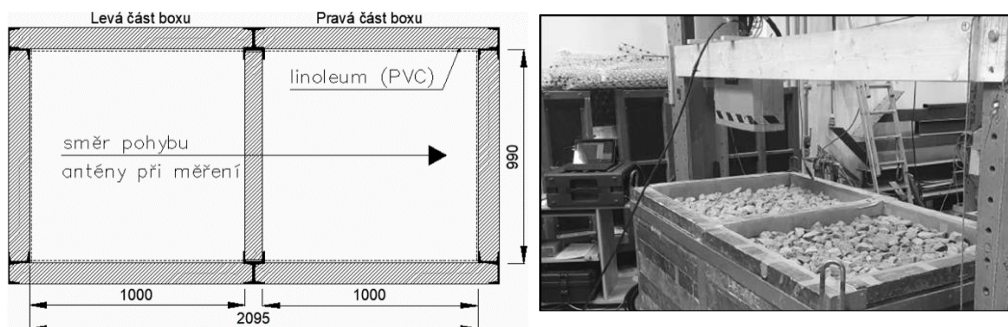
Hlavním předmětem laboratorní fáze je provedení sady modelů kolejového lože vytvořených z kameniva různé míry znečištění od kameniva nového splňujícího předepsané parametry dle SŽDC S3 [6] až po kamenivo s vysokou mírou znečištění, které bylo odebráno v koleji. Dílčí výsledky výzkumu prezentované v tomto příspěvku jsou zaměřené na odhad závislosti mezi:

1. relativní permitivitou ϵ_r [-], což je parametr vypočtený vyhodnocením dat z GPR, a
2. objemovou hmotností [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$], která reprezentuje skutečný stav kameniva určený experimentálními metodami.

Odhad výše zmíněné závislosti mezi relativní permitivitou ϵ_r a objemovou hmotností umožní vytvoření přibližného vztahu, který bude aplikovatelný při analýze dat z GPR při jízdě měřicího vozu a umožní odhad míry znečištění kolejového lože sledované trati.

2.1 Laboratorní model kolejového lože železničního svršku

Pro měření kameniva pomocí GPR byly provedeny laboratorní modely kolejového lože situované v boxu, který se skládá z ocelové rámové konstrukce s výplní z dřevěných hranolů. Podélný řez boxu se základními rozměry a fotografií je na obr. 2. Z obrázku je zřejmá přepážka v polovině délky, která umožňuje rozdělení boxu na dvě stejné části, a tím provedení dvou laboratorních modelů současně. Výška konstrukce každého provedeného modelu byla 0,70 m a půdorysné rozměry byly 1,00 m × 0,99 m. Vnitřní stěny boxu byly pokryty linoleem, které zamezilo vysypávání jemných frakcí materiálu spárami mezi dřevěnými hranoly. Ztráty materiálu by negativně ovlivnily přesnost sledovaných parametrů.



Obr. 2 Laboratorní model kolejového lože a GPR s anténou Horn 1GHz instalovanou nad modelem

Předem byla definována sada modelů z různých typů kameniva. Modely byly připravovány vždy ve dvojicích, které byly současně stavěny, byla vyhodnocena jejich objemová hmotnost a následně byly současně měřeny pomocí GPR. Ke stanovení hmotnosti vkládaného materiálu, která byla potřeba pro výpočet objemové hmotnosti, byla použita závěsná jeřábová váha Crane Scale s měřicím rozsahem 3 000 kg a přesností měření $\pm 0,5$ kg. Mezi další stanovené charakteristiky kameniva byla vlhkost, zrnitost, sypná hmotnost, objemová hmotnosti zrn a mezerovitost.

2.2 Popis georadaru a použité antény

Použitá souprava GPR se skládala z vlastní jednotky georadaru, antény a kabelů. Byl použit GPR typu SIR-30 a anténa typu Horn výrobce GSSI o hodnotě frekvence 1 GHz. Sestava byla poskytnuta společností G IMPULS Praha, spol. s.r.o., která se na výzkumném projektu podílí. Anténa Horn byla doplněna o dřevěnou závěsnou konstrukci, která byla uložena do dráhy ze dvou dřevěných fošen (viz obr. 2). Anténa se tak při měření pohybovala po pevně definované dráze a vždy ve stejné vzdálenosti od horního povrchu laboratorních modelů.

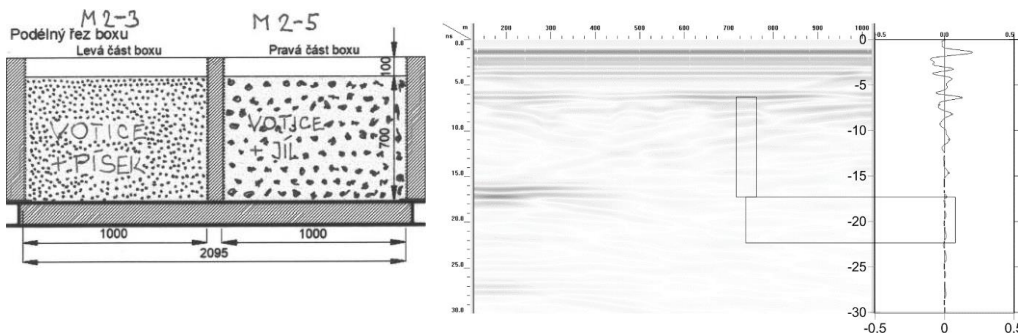
Vlastní princip měření pomocí GPR je založen na měření rychlosti průniku vlny materiálem nebo konstrukcí s tím, že relevantní je rychlost v řádu nanosekund a nazývá se permitivita. Grafickým výstupem z GPR je pak tzv. radarogram. Aby bylo možné jednotlivé výstupy z měření různých materiálů porovnat, vyhodnocuje se tzv. relativní permitivita ϵ_r , která je podílem rychlosti průniku vlny vakuem a rychlosti průniku vlny sledovaným materiálem.

Sada laboratorních modelů prezentovaná v tomto textu obsahovala celkem 10 položek s tím, že jednotlivé modely se od sebe odlišovaly typem kameniva (nové, použité), typem jejich znečištění (jíl, písek, rozpad zrn a drobná frakce) a dále provedením konsolidace kameniva (zkonsolidové, nezkonsolidované). Modely jsou uvedeny v následujícím seznamu:

- M1-1, nové kamenivo z lomu Votice, nezkonsolidované;
- M1-2, nové kamenivo z lomu Libodřice, nezkonsolidované;

- M2-1, znečištěné kamenivo ze stanice Beroun-Závodí, nezkonsolidované;
- M2-2, znečištěné kamenivo z trati v oblasti Boletice nad Labem, nezkonsolidované;
- M2-3, nové kamenivo z lomu Votice znečištěné křemičitým pískem, zkonsolidované;
- M2-5, nové kamenivo z lomu Votice znečištěné jílem, zkonsolidované;
- M5-2, nové kamenivo z lomu Votice, zkonsolidované;
- M5-4, nové kamenivo z lomu Votice, zkonsolidované;
- M5-6, znečištěné kamenivo ze stanice Beroun-Závodí, zkonsolidované;
- M5-8, znečištěné kamenivo z trati v oblasti Boletice nad Labem, zkonsolidované.

Na obr. 3 je uveden příčný řez laboratorním boxem s příkladem dvou modelů kolejového lože s označením M2-3 a M2-5.



Obr. 3 Příčný řez laboratorním modelem M2-3 a M2-5 a jejich radarogram

3. Výsledky

Cílem laboratorních modelů bylo vyhodnotit objemovou hmotnost a relativní permitivitu ε_r sledovaných typů kameniva. Vyhodnocení relativní permitivity ε_r bylo provedeno na základě naměřených dat za použití georadaru, která byla následně zpracována odborníky ve společnosti G IMPULS Praha, spol. s.r.o. Výsledky pro nezkonsolidovaný materiál jsou uvedeny v tab. 1 a pro zkonsolidovaný materiál v tab. 2.

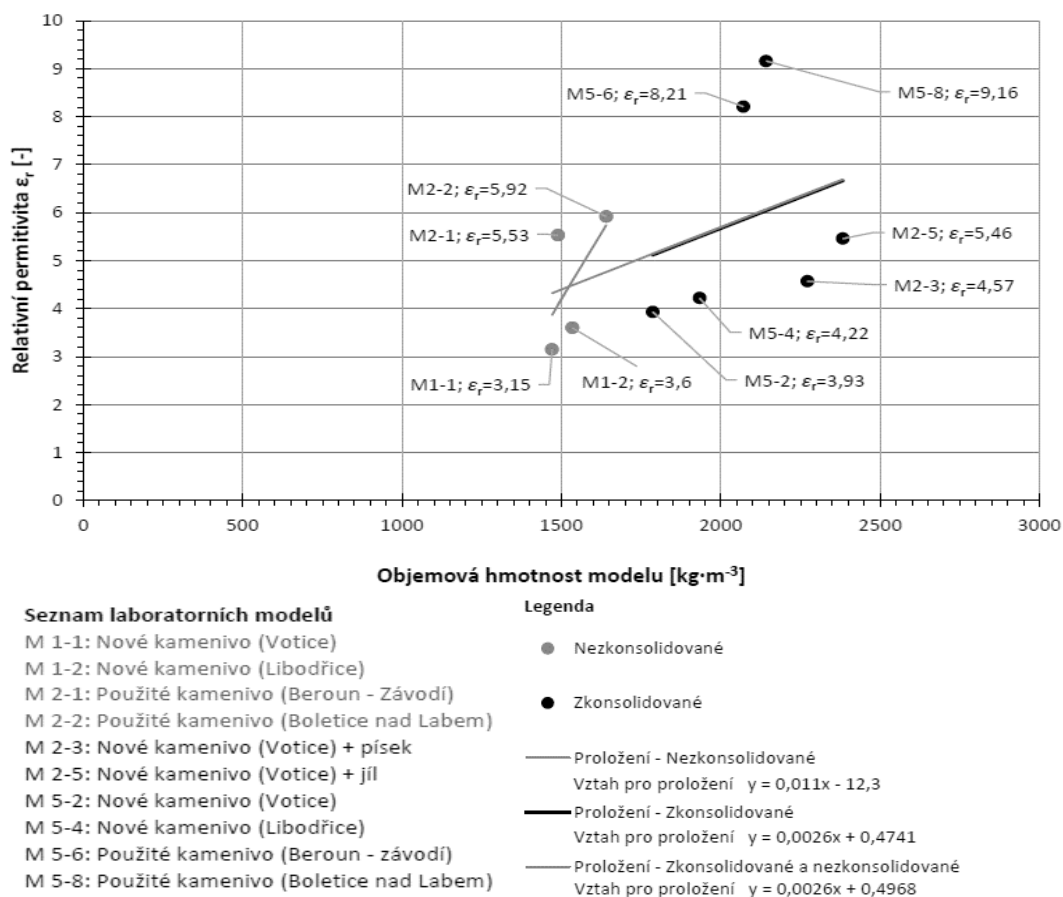
Tab. 1 Objemová hmotnost a relativní permitivita ϵ_r nezkonsolidovaného materiálu ve sledovaných laboratorních modelech

Původ	Označení modelu	Objemová hmotnost	Relativní permitivita ϵ_r
	-	[kg.m ⁻³]	[-]
Votice	M1-1	1470	3,15
Libodřice	M1-2	1534	3,60
Beroun - Závodí	M2-1	1489	5,53
Boletice nad Labem	M2-2	1640	5,92

Tab. 2 Objemová hmotnost a relativní permitivita ϵ_r zkonsolidovaného materiálu ve sledovaných laboratorních modelech

Původ	Označení modelu	Objemová hmotnost	Relativní permitivita ϵ_r
	-	[kg.m ⁻³]	[-]
Votice + písek	M2-3	2271	4,57
Votice + jíł	M2-5	2382	5,46
Votice	M5-2	1786	3,93
Libodřice	M5-4	1933	4,22
Beroun - Závodí	M5-6	2070	8,21
Boletice nad Labem	M5-8	2142	9,16

Pro vyjádření přibližného vztahu mezi zmíněnými dvěma parametry byly vytvořeny závislé dvojice hodnot vztažené k jednotlivým modelům. Ze závislých dvojic byl vytvořen graf, který je v obr. 4.



Obr. 4 Souhrnné zobrazení výsledků objemové hmotnosti a relativní permitivity ve sledovaných laboratorních modelech

Z grafu je jasně pozorovatelné, že nejnižší hodnoty objemové hmotnosti a současně i relativní permitivity ϵ_r dosahují modely M1-1 a M1-2, které oba reprezentují nezkonsolidované nové kamenivo frakce 31,5/63. Z grafu lze dále pozorovat, že nárůst objemové hmotnosti kameniva i relativní permitivity ϵ_r byl dosažen u modelů, u nichž byl štěrk zkonsolidován a také u modelů, kdy byl štěrk znečištěn. Pozornost je dobré věnovat především všem zkonsolidovaným modelům, které reprezentují skutečný stav kameniva kolejového lože v trati, ve kterém je kamenivo stabilizované vlivem provozu, popřípadě vlivem dynamického stabilizátoru.

Ve skupině modelů se zkonsolidovaným kamenivem má nové kamenivo v modelech M5-2 a M5-4, které reprezentují nově vybudovanou trať, opět nejnižší hodnotu objemové hmotnosti i relativní permitivity ϵ_r . Tyto dva modely lze považovat za referenční. U všech ostatních zkonsolidovaných modelů byly vyhodnoceny vyšší hodnoty objemové hmotnosti a relativní permitivity ϵ_r , kterých bylo dosaženo snížením podílu mezer mezi zrn (rozpadem zrn

a kontaminací kameniva). Premisa o rostoucí relativní permitivitě ε_r spolu s rostoucí mírou znečištění kameniva byla potvrzena. Hodnoty relativní permitivity byly zjištěny zaokrouhleně od 3 (nové kamenivo) po 9 (použité znečištěné kamenivo). V obr. 4 jsou uvedeny indikativní lineární vztahy. Součástí navazujícího výzkumu bude měření dalších laboratorních modelů se zahrnutím vlivů vlhkosti a dalších materiálů, které způsobují znečištění kameniva v železniční trati. Provedení dalších modelů umožní také zpřesnění zmiňovaných lineárních vztahů mezi objemovou hmotností a relativní permitivitou ε_r .

4. Závěr

V laboratorním prostředí bylo vytvořeno 10 modelů kolejového lože, které se odlišovaly typem a znečištěním kameniva a jeho konsolidací. Pro sledování znečištění kameniva byly vybrány dva hlavní parametry, a to relativní permitivita ε_r získaná z měření pomocí GPR a objemová hmotnost. Závislé dvojice hodnot indikovaly přibližné vztahy mezi zmíněnými parametry. V další fázi provádění laboratorních modelů bude vhodné věnovat pozornost vlivu vlhkosti měřeného materiálu. Zkušenosti získané v laboratoři při měření kameniva s použitím GPR budou využity při měřeních ve vybraných úsecích železničních tratí.

Literatura

- [1] ANBAZHAGAN, Panjamani, Naresh, DIXIT, T., BHARATHA. Identification of type and degree of railway ballast fouling using ground coupled GPR antennas. JOURNAL OF APPLIED GEOPHYSICS [online]. 2016, 126, 183–190. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jappgeo.2016.01.018
- [2] MARQUES, Ana Margarida, Simona FONTUL, André PAIXÃO. Ballast fouling evaluation with ground penetrating radar. In: The 14th International Conference on Vibration Engineering and Technology of Machinery (VETOMAC XIV). London, 2018. Dostupné z: doi: 10.1051/mateconf/201821112004
- [3] BORKOVCOVÁ, Anna. Determination of fouling level change in the railway ballast layer during machine cleaning process by measuring changes of relative permittivity using GPR technology. Pardubice. Bakalářská práce. Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, vedoucí práce: Vladislav Borecký. 2019
- [4] ZEMANOVÁ, Tereza. *Hodnocení granulometrického znečištění kolejového lože ve vztahu k následné recyklaci*. Praha. Bakalářská práce. Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze, vedoucí práce: Martin Lidmila. 2017
- [5] GRAMAN, Filip. *Hodnocení míry znečištění kolejového lože pomocí georadaru se zaměřením na vliv materiálu způsobující znečištění*. Praha. Bakalářská práce. Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze, vedoucí práce: Vít Lojda. 2022
- [6] SŽDC S3. *Železniční svršek, Oprava 1, účinnost od 1. ledna 2022*. Praha: Správa železnic, státní organizace. 2021

Poděkování

Tento příspěvek byl vytvořen se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu BETA2 - projekt Diagnostika a hodnocení kvality kolejového lože pomocí georadaru, TITSMD006. Data z georadaru byla zpracována společností G IMPULS Praha, spol, s.r.o., která vyhodnotila a poskytla hodnoty relativní permittivity.

Využití časoprostorových predikcí pro návrh staveb

Ing. Petra Okřinová¹, Ing. Daniel Nikolov²

*Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,
Veveří 331/95, 602 00 Brno-střed*

e-mail_1: Petra.Okrinova@vutbr.cz

e-mail_2: Daniel.Nikolov@vutbr.cz

Abstrakt

Při moderním a účinném navrhování budov orientovaném na budoucí uživatele, je zapotřebí analyzovat komfort pohybu osob již ve fázi návrhu stavby, a to zejména u veřejných staveb specifického rázu. Příkladem takových staveb mohou být, např. i dopravní uzly, které často disponují rozsáhlými a složitými uzavřenými dispozicemi, s rozsáhlými koridory, vybavením interiéru a drobných interiérových staveb se službami (prodejní stánky, pulty, občůdky apod.). Dispoziční řešení a rozmístění vnitřního vybavení stavby má silný vliv na výsledný efekt rychlosti odbavení cestujících, tak i samotný komfort cestujících s ohledem na budoucí preferenci opakovaného využití konkrétní stavby. Příspěvek se zabývá přestavením výsledků juniorského projektu, který se zabývá efektivními časoprostorovými predikcemi komfortu s využitím metod strojového učení, konkrétně jejich tvorbou a možností jejich užití jako účinného nástroje pro optimalizaci návrhů dispozičního členění staveb a dimenzí jejich jednotlivých částí.

Klíčová slova

Navrhování budovy, komfort, časoprostorová predikce, strojové učení, dispozice, optimalizace, pohyb osob.

The use of spatiotemporal predictions for building design

Abstract

In the modern and effective design of buildings oriented towards future users, it is necessary to analyze the comfort of movement of the users themselves already in the construction design phase, especially in the case of public buildings of a specific nature. Examples of such buildings can be transport hubs, which have extensive and often complex closed layouts, with extensive corridors, interior equipment, and small interior buildings with services (sales stands, counters, shops, etc.). The layout solution and the layout of the internal equipment of the building has a strong influence on the resulting effect of the speed of passenger check-in, as well as the comfort of the passengers, considering the future preference for repeated use of a specific building. The contribution deals with effective spatiotemporal predictions - their creation and the possibility of using them as an effective tool for optimizing designs for the layout of buildings and the dimensions of their individual parts. At the same time, the results of a junior project are presented, which was concerned with the development of a software tool for effective spatiotemporal comfort predictions using machine learning methods.

Keywords

Building design, comfort, spatiotemporal prediction, machine learning, deposition, optimization, people movement.

1. Úvod

Dennodenně jsou veřejné prostory, jako jsou např. administrativní budovy, nákupní centra, pasáže, nebo třeba i dopravní uzly, využívány tisíci osob až desítkami tisíc osob při jejich každodenních běžných aktivitách. Jedná se zejména o budovy a provozy jímající při jejich užívání velké masy lidí a o specifické stavby s rozsáhlými a často i složitými uzavřenými dispozičními proporcemi. Proces návrhu těchto typů staveb, není často jednoduchým úkolem s ohledem na rozvoj stavebnictví, vývoj demografických křivek populace, změny charakteru davu a celkové potřeby a nároků osob dnešní společnosti.

Aktuálně se v rámci České legislativy a normového přístupu při navrhování geometrie veřejných staveb opíráme o dlouholeté, unifikované standardy, které vycházejí pouze ze základních potřeb osob pro jejich pohyb. Primárními zdroji využívanými nyní v ČR pro návrh z pohledu základních lidských rozměrů dle komfortu a typologie, lze uvést:

- NEUFERT, Ernst. Navrhování staveb: 1. vydání. Praha: CONSULTINVEST, 1995. 581 s. [1];
- Vyhláška č. 398/2009 Sb. o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb [2];
- Vychází z PBR – ČSN 73 0802 (ČSN 73 08XX) [3].

Lze říci, že pro moderní navrhování budov orientované na budoucí uživatele je velmi důležité již ve fázi návrhu stavby analyzovat budoucí komfort samotného pohybu osob. Proto se v dnešní době již setkáváme s posuzováním pohybu osob, pomocí tzv. numerických modelů pohybu osob. A to zejména v rámci plánování hromadných akcí, návrhu nových budov anebo během posuzování již stávajících v souvislosti s posuzováním jejich geometrie a vyhodnocování jejich bezpečnosti ve spojitosti s požárně bezpečnostním řešením a zhodnocením evakuace osob z dané budovy. V současnosti jsou uplatňovány zejména metody, které využívají simulací agentních modelů. Mezi nevhodnější typ modelů pro posuzování pohybu osob v rámci řešeného provozu nebo při navrhování dopravních staveb a jejich částí, jakými jsou např. koridory, nástupiště, odbavovací budovy apod., patří zejména agentní modely s behaviorálními vlastnostmi, jakým je i nástroj Pathfinder, který byl užít při práci pro tvorbu numerických modelů základních úloh. Příprava těchto modelů, samotné výpočty i analýzy velkého množství dat jsou velmi časově náročné a lze tedy konstatovat, že v současné formě jsou neproveditelná v reálném čase. Tyto simulace jsou využívány v praxi zejména ke stanovování evakuačního času a případně posouzení kapacit určitých částí objektu, ale nikoli však ke stanovení uživatelského komfortu.

S hledem na tento fakt a absenci pomocného nástroje pro navrhování, který by dokázal v reálném čase poskytovat výsledky potřebných analýz pohybu osob, vznikl projekt s názvem Efektivní časoprostorové predikce s využitím metod strojového učení. Článek představuje práci výzkumného týmu

vědců z Vysokého učení technického v Brně, který byl podpořený v rámci grantu TAČR Zeta, TJ04000232.

2. Efektivní časoprostorové predikce s využitím ML

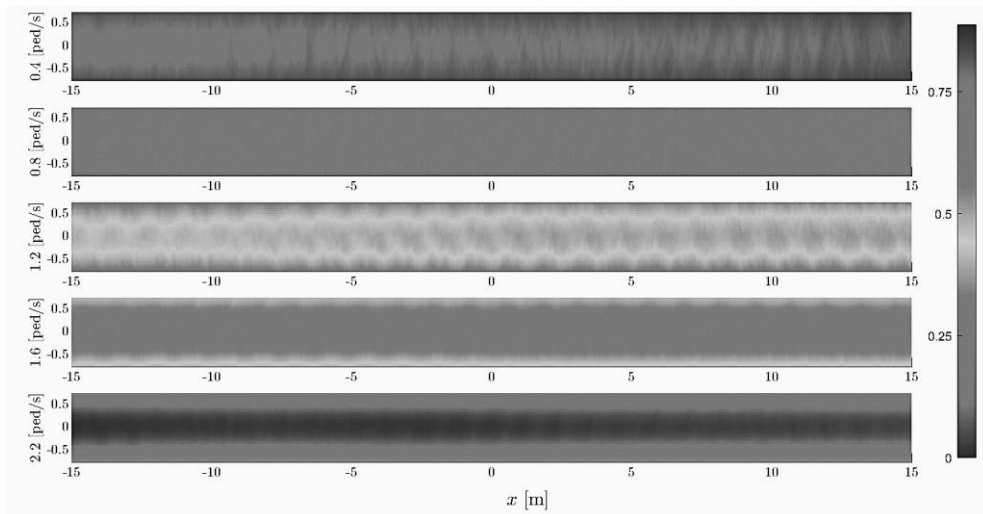
Hlavním cílem projektu TJ04000232 – Efektivní časoprostorové predikce s využitím metod strojového učení, bylo vytvoření snadno implementovatelného softwarového nástroje do praxe pro automatická vyhodnocení a predikci komfortu pěší dopravy v reálném čase, a to už během navrhování stavby, tak aby bylo možné posoudit přímý dopad návrhu na uživatele objektu v reálném čase při návrhové fázi. Projekt tak reaguje na aktuální nezbytnost lepší digitalizace stavebnictví a zvýšení možnosti individualizace staveb podle skutečné potřeby, tudíž i ekonomičtější a udržitelnější výstavby.

2.1 Analýza komfortu

V současné době existuje pouze velmi omezené množství literatury, která se zabývá komfortem pohybu osob jinak než prostřednictvím lokální hustoty jak u vádí ve své publikaci např. J. Frun [4]. Výzkum v oboru bezpečnostních aplikací, zejména evakuací, zpravidla užívá Fruinem zavedenou metriku úrovně kvality pěší dopravy, která klasifikuje lokální hustotu ($\text{os}\cdot\text{m}^{-2}$) na stupnici A-F (kde písmeno A je považováno za nejlepší úroveň a F za nejméně vyhovující až kritický stav). Na základě této stupnice byly sestaveny alternativní metriky [5] [6] lišící se hraničními hodnotami lokální hustoty.

Z hlediska fyzikálních veličin je však vhodné komfort pohybu chodců analyzovat nejen z pohledu okamžité (popř. maximální naměřené) lokální hustoty, ale i z hlediska jejího vývoje v čase. Doba obsazenosti prostoru udává kumulativní čas, který osoby strávili na pozorovaném místě. Lokální hustota a doba obsazenosti prostoru jsou vzájemně závislé veličiny. Jejich optimální kombinací lze popsat např. situaci, kdy je osoba vystavena vysoké lokální hustotě trvající krátkou dobu a na základě toho relevantně vyhodnotit reálný dopad na osoby (např. vysoká hustota po krátkou dobu nemusí znamenat vysoké riziko, tedy při užití pouze jedné z těchto metrik nelze z hlediska komfortu přesně interpretovat danou situaci [7] [8]).

V řešení projektu je komfort pohybu pěší dopravy charakterizován mírou nastalých kongescí [9], při nichž dochází k omezení rychlosti pohybu a nárůstu lokální hustoty ($\text{os}\cdot\text{m}^{-2}$) a doby obsazenosti prostoru (s). Analýzy komfortu pohybu osob byly provedeny na sestavených základních geometrických úlohách (variantních řešeních nejběžnějšího uspořádání geometrie koridorů budov), blíže viz kap. 2.2 a pro proudění osob v objektech (např. jednosměrný pohyb osob v předdefinovaném koridoru, s různými intenzitami proudění osob, blíže viz Obr.1.).



Obr. 1 Příklad veličiny komfortu (x, R) [os/m^2] pro základní úlohu typu I s jedním proudem

Pro stanovení komfortu pohybu osob v rámci základních úloh je nutné věnovat pozornost především vhodnému výběru modelu dopravního proudu pěších. Při volbě modelu je nutné dbát na možnosti ztvárnění geometrie i samotné možnosti výpočtu. Model by měl splňovat několik základních podmínek, jakými jsou: mikroskopické ztvárnění geometrie, stochasticita, parametrizace rychlosti pohybu, parametrizace fyzických rozměrů osob [11] a parametrizace odstupů od stěn a ostatních agentů.

2.2 Základní úlohy a tvorba umělých dat

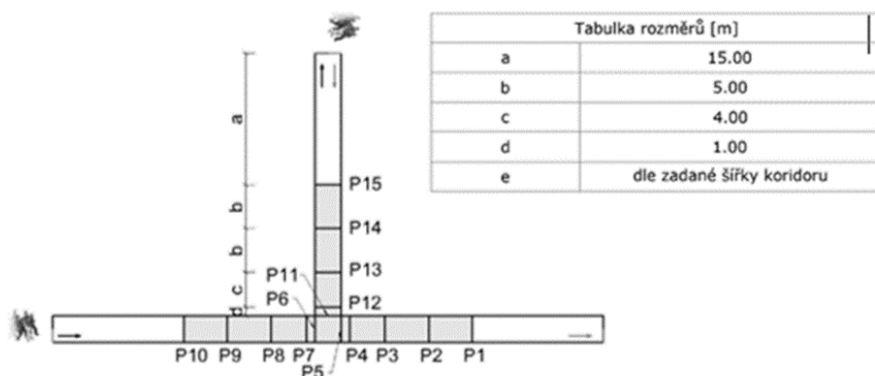
Za účelem získání dat pro analýzu komfortu a trénování strojového učení byly sestaveny sady základních geometrických úloh (modelů pohybu osob založených na agentních technologiích) se vstupními parametry, které byly následně simulovány.

Samotná řešená stavba je pro zjednodušení dělena na základní dílčí celky, které nám následně představují jednotlivé základní úlohy pro analýzu dílčích míst geometrie stavby. Úlohy jsou voleny na základě potřeby ověření dimenzí, návazností a míst, kde může docházet ke kongescím, dynamickým zvrátům v pohybu osob či jejich střetávání a mísení. Dle přirozeného pohybu osob lze úlohy dělit do čtyř základních charakteristických skupin:

- **koridor** (pro ověření dimenzí a návrhu zejména z pohledu šířkových nároků a manipulačních ploch - např. i s ohledem na osoby s hendikepem);
- **křížení** (pro ověření návrhu jeho provozu a vlivu na pohyb osob při křížení proudů);
- **překážky** (pro ověření vlivu a vzniku dynamických změn v davu);

- **schodiště** (pro ověření dimenzí a návrhu zejména z pohledu šířkových nároků a jejich uspořádání, s ohledem na to, že z provozního hlediska se jedná o prvky geometrie s nejnáročnějším popisem pohybu osob).

S přihlédnutím na fakt, že drtivá většina staveb je historicky navrhována s pravoúhlým uspořádáním interiéru – místností, koridorů, funkčních celků apod. byly finálně zvoleny základní úlohy typu – I, L, T, X. Výběr úloh pokrývá základní dispoziční uspořádání budov v rámci jednoho podlaží, je však možné ho libovolně rozšířit o další výše zmíněné typy. Finální úlohy byly dále děleny dle asynchronicity a typu proudění osob (jednosměrného/obousměrného), jejich bližší přehled je uveden v Tab. 1.



Obr. 2 Schéma příkladu geometrie základní úlohy typu T (vlevo) před vstupem do MDPP s rozmístěním a označením měřících profilů, pozorovaného úseku (šedá barva) s obousměrným prouděním a tabulka s dimenzemi (vpravo).

Tab. 1 Příklad výběru a dílčího členění základních úloh

Název	Popis úlohy
I_uni	úloha typu I s jednosměrným prouděním osob
I_bidi	úloha typu I s obousměrným prouděním osob
I_bidi_asyn	úloha typu I s asynchronním obousměrným prouděním osob
L_uni	úloha typu L s jednosměrným prouděním osob
L_bidi	úloha typu L s obousměrným prouděním osob
L_bidi_asyn	úloha typu L s asynchronním obousměrným prouděním osob
T_IL_uni	úloha typu T s jednosměrným prouděním osob, kde pouze jeden proud zatáčí o 90°
T_IL_bidi	úloha typu T s obousměrným prouděním osob, kde pouze jeden proud zatáčí o 90°
T_IL_bidi_asyn	úloha typu T s asynchronním obousměrným prouděním osob, kde pouze jeden proud zatáčí o 90°
T_LL_uni	úloha typu T s jednosměrným prouděním osob, kde oba proudy zatáčí o 90°

T_LL_bidi	úloha typu T s obousměrným prouděním osob, kde oba proudy zatáčí o 90°
T_LL_bidi_asyn	úloha typu T s asynchronním obousměrným prouděním osob, kde oba proudy zatáčí o 90°
X_uni	úloha typu X s jednosměrným prouděním osob
X_bidi	úloha typu X s obousměrným prouděním osob
X_bidi_asyn	úloha typu X s asynchronním obousměrným prouděním osob

Základní úkoly byly následně modelovány v numerickém modelu pohybu osob. V našem případě byl pro modelování užit softwarový nástroj Pathfinder [12]. Z výsledků dílčích modelů jsou filtrována a zpracovávána data, která jsou následně využívána jako podklad pro výpočty a statistiky nově zavedené veličiny tzv. “komfortu”, viz kap. 2.2. Z vypočtených a analyzovaných dat je dále sestavována databáze, která následně slouží jako trénovací (ověřovací) množina pro implementaci vybrané metody strojového učení, jak je blíže uvedeno v kap. 2.3.

Metody strojového učení

Strojové učení (dále jen ML) je jedním z odvětví umělé inteligence, které umožňuje počítači (stroji) učit se z trénovací množiny a na základě takto získaných znalostí vyhodnocovat nová data. Počítač tedy není striktně naprogramován, nemá přesnou rovnici nebo algoritmus zadanou uživatelem, podle které by řešil problém množiny nových dat. Metody strojového učení vychází ze statistiky a nachází uplatnění takřka ve všech oblastech, kde je potřeba zpracovávat velké množství dat, jako například [13]. Na rozdíl od tradičního analytického vyhodnocení, je řešení pomocí ML rychlejší, ekonomičtější, ale často i přesnější.

Algoritmy ML se primárně dělí podle formy trénovací množiny na učení s učitelem a bez učitele, jejich kombinaci, a v poslední době často používané zpětnovazebné učení. Při učení s učitelem stroji pomáhají lidé a trénovacím datům na vstupu je přiřazen správný výstup. Pokud však řešitel (člověk) není schopen určit správnou hodnotu výstupu, používá se učení bez učitele. Zpětnovazebné učení je založeno na principech behaviorální psychologie a je často používáno u agentních modelů. V ML je nejčastěji používáno metodou Markovova rozhodovacího procesu a jejími variantami.

ML je obvykle užíváno na rozdělování vstupních dat do tříd (klasifikace), určení hodnoty na výstupu dle hodnoty na vstupu (regrese), případně k seskupování objektů do skupin s podobnými vlastnostmi (clustering). Metody ML se v dnešní době používají ke zpracování nejrozličnějších dat, jako je např. zpracování řeči nebo textu, vyhodnocování obrázků, a další [9] [14]. V současnosti je používáno mnoho různých metod ML, jejich kombinace a další použití se neustále vyvíjí.

V našem případě bylo ML užito pro data, která byla výstupem agentních simulací – konkrétně hodnoty komfortu na uzlech předem definované sítě. Na počátku bylo cílem vytvoření neuronové sítě, která na základě vstupních

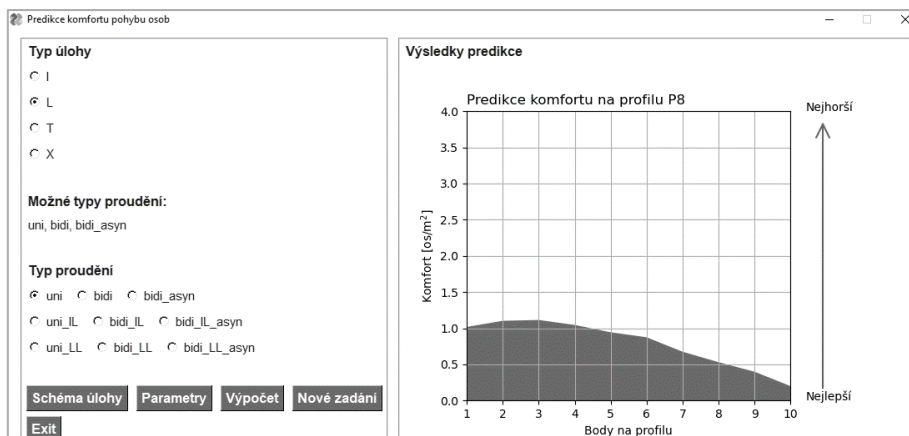
dat bude predikovat tyto hodnoty. Vstupní údaje, bylo nutné stanovit tak, aby poskytovaly dostatečné informace a zároveň celý systém nebyl příliš složitý. Pro zjednodušení byly pro každou úlohu vybrány profily (řezy), které jsou významné a průběh komfortu dostatečně vystihují. Samotné profily byly vybrány analýzou generovaných dat.

2.4 Výstupy projektu

Všechny vzniklé výsledky projektu jsou umístěné na stránkách projektu <https://espred.fce.vutbr.cz/>, kde jsou volně ke stažení. Jejich uplatnění a využití výsledků se očekává v projekční inženýrské praxi k zefektivnění procesu návrhu ve stavebnictví a lepší využitelnosti prostor (úpravy dispozice, efektivnost návrhu ve vztahu k budoucím vícenákladům, rozmístění mobiliáře a reklamních poutačů) a s tím souvisejícím vyšším komfortem nově navrhovaných budov.

V rámci projektu vznikly tři základní výsledky:

- **Databáze výsledků fyzikálních modelů pro strojové učení**, jedná se o strukturovanou databázi výsledků agentních simulací – konkrétně časoprostorových trajektorií agentů a vypočtených hodnot komfortu integrační metodou, která je založena na jádrových funkcích reprezentujících proxemické zóny jednotlivých agentů. Tato databáze slouží jako vstup pro výpočet komfortu a jako trénovací (ověřovací) množina dat pro algoritmy strojového učení.
- **Softwarový nástroj pro efektivní časoprostorové predikce založené na ML**, nástroj zefektivňující časoprostorové predikce pohybu osob využívající umělou neuronovou síť trénovanou na databázi. Pro tento nástroj a jeho validaci při návrhu byla využita stávající zkušenost s časoprostorovým modelováním, doplněná o nově identifikované aplikační domény a formulace testovacích scénářů, a to na základě volby sady vstupních parametrů (např. tvar základní úlohy, intenzita, gender apod.). Vzniklý softwarový nástroj, byl vytvořen v programovacím jazyce Python, je základním prvkem pro běžnou práci koncového uživatele pro predikci komfortu. Cílem SW je poskytnout okamžitý odhad komfortu dle zadaných parametrů v rámci uživatelsky snadno ovladatelného grafického rozhraní a získání tak potřebných informací pro tvorbu návrhu.



Obr. 3 – Ukázka hlavního okna softwarového nástroje „Komfort“ s příkladem konkrétní predikce pro základní úlohu typu „T“, s jednosměrným prouděním.

- Metodika pro testování a validaci klasifikátorů,** která je koncipovaná, jako komplexní strukturovaný soupis poznatků a zkušeností interpretující jednotlivé fáze přípravy, ověřování, tak i samotného užívání při tvorbě časoprostorových predikcí komfortu osob. Metodika se zabývá návrhem, testováním a validací časoprostorovou predikcí komfortu osob a komplexní přípravou trénovacích dat generovaných z numerických modelů pohybu osob. Nastíněné metody je možné užít i pro zpracování a predikce obecného charakteru – nejen nutně vázané na predikci komfortu, ale mohou mít přesah i mimo tento obor. Uživatel získává představu, jak vytvořit základní úlohy pro predikce komfortu pohybu osob v budovách, teorii tvorby agentních simulací, možnou definici komfortu, přípravu dat pro metody strojového učení a základní informace pro výběr a provedení vhodné metody. Na závěr je uveden možný návrh softwarového nástroje sloužícího jako uživatelské rozhraní.

3. Diskuze

Výsledky a popsané metody pro získávání časoprostorových predikcí komfortu při pohybu osob jsou komplexní a skýtají silný potenciál pro další rozšíření a budoucí výzkum. V oblasti samotného výzkumu mohou být dále výsledky využity při vývoji a testování surogátních modelů založených na umělé inteligenci, což je i cílem budoucího výzkumu řešitelského týmu působícím na tomto projektu.

Výsledná **datová** databáze výsledků fyzikálních modelů pro strojové učení lze využít jak samostatně, tak jako podklad pro další výzkumné týmy, může sloužit především dalšímu výzkumu a rozvoji implementace ML nejen v oblasti komfortu, ale například i bezpečnosti užívání staveb, nebo také

jako součást navrženého **softwarového nástroje** zefektivňujícího časoprostorové predikce pohybu osob a tak usnadnit a urychlit práci subjektů podílejících se na návrhu budov a členění prostor (ve vztahu ke generativnímu designu). Tento softwarový nástroj uživatele upozorní, ve kterých místech zadané geometrie by mohlo docházet ke snižování komfortu budoucích uživatelů z důvodu nedostatečné kapacity, tím zlepšit využitelnost budov a zefektivnit proces návrhu ve stavebnictví (úpravy dispozice, efektivnost návrhu ve vztahu k budoucím vícenákladům, rozmístění mobiliáře a reklamních poutačů). Postup nahrazení numerických simulací metodami strojového učení dle **metodiky** je obecně uplatnitelný v jakémkoli odvětví, které pracuje s časoprostorovými úlohami a simulacemi pomocí agentních modelů.

Samotné výsledky tohoto projektu mohou nalézt rychlé uplatnění v posuzování vnitřního komfortu budov, obzvláště pak veřejných staveb, a to nejen v oblasti návrhu samotné stavby, ale i posouzení jejího životního cyklu, organizaci provozu a možnosti rychlého získání podkladů pro případné plánované změny.

4. Závěr

Pomocí numerických modelů, jak dokládá tato práce, lze analyzovat bezpečnost jednotlivých budov, jejich geometrii, identifikovat kritická místa, která jsou nedostatečná z kapacitních či jiných důvodů a předejít tak sekundárním problémům. Jejich aplikace pomáhá nalézt možná řešení uspořádání vnitřních dispozičních řešení staveb již v průběhu návrhové fáze, bohužel tyto procesy jsou pro rychlou reflexi v reálném čase prozatím ještě nedostupné, a proto nastíněné užití metod ML je vhodným nástrojem pro rychlé efektivní nástroje. Pomocí strojového učení jsme schopni vytvářet predikci na trénovacích datech a predikovat tak možný vývoj nastalých situacích jako je pohyb osob v prostoru navrhovaných staveb a zajistit tak maximálně možný komfort uživatelům pohybujícím se komunikačními prostory i s přesahem na jejich bezpečnost, jelikož ověřený a optimalizovaný návrh geometrie/provozu eliminuje i tzv. kritická místa (potenciální místa vzniku kritické události s možností poranění osob).

Celkově je třeba si při návrhu budov uvědomit, že je nutné na budovy pohlížet jako na provozní živé objekty, které jsou definované zejména potřebami jejich uživatelů. Díky stavbám, které se svými uživateli budou počítat již ve fázi návrhu stavby, dojde k další eliminaci diskomfortu a předejde vzniku negativních sekundárních procesů, jakými jsou: snížení osobního komfortu, nuceným změnám trasy, nerovnoměrnému využití ploch geometrie, tvorba kongescí, snížení preferencí apod.

Literatura

- [1] NEUFERT, Ernst. Navrhování staveb: 1. vydání. Praha: CONSULTINVEST, 1995. 581 s.
- [2] Vyhláška č. 398/2009 Sb.: Vyhláška o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb. In: 11/2009.
- [3] ČSN 73 0802 - Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty
- [4] FRUIN, John J. Pedestrian planning and design. New York: Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, [1971]. ISBN 9781886536012
- [5] NATIONAL RESEARCH COUNCIL, et al. Highway capacity manual. the National Academy of Sciences, 2000.
- [6] BRILON, W., et al. Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Schlussbericht zum Forschungsauftrag FE, 2001, 2: R96A.
- [7] HELBING, Dirk; MUKERJI, Pratik. Crowd disasters as systemic failures: analysis of the Love Parade disaster. EPJ Data Science, 2012, 1.1: 1-40.
- [8] JEMPHREY, Ann; BERRINGTON, Eileen. Surviving the media: Hillsborough, Dunblane and the press. Journalism Studies, 2000, 1.3: 469-483.
- [9] SHIN, Jong Won; CHANG, Joon-Hyuk; KIM, Nam Soo. Voice activity detection based on statistical models and machine learning approaches. Computer Speech & Language, 2010, 24.3: 515-530.
- [10] STEFFEN, Bernhard; SEYFRIED, Armin. Methods for measuring pedestrian density, flow, speed and direction with minimal scatter. Physica A: Statistical mechanics and its applications, 2010, 389.9: 1902-
- [11] SCHADSCHNEIDER, Andreas; SEYFRIED, Armin. Empirical results for pedestrian dynamics and their implications for modeling. Networks & heterogeneous media, 2011, 6.3: 545.
- [12] Pathfinder Technical Reference [online]. 403 Poyntz Avenue, Suite B, Manhattan, KS 66502, USA: Thunderhead Engeneering, 2020 [cit. 2020-12-21]. Dostupné z: https://www.thunderheadeng.com/wp-content/uploads/dlm_uploads/2011/07/tech_ref-6.pdf
- [13] KRATOCHVÍLOVÁ, Martina, et al. Train Type Identification at S&C. Journal of Advanced Transportation, 2020, 2020.
- [14] KE, Shikun; OLEA, José Luis Montiel; NESBIT, James. A Robust Machine Learning Algorithm for Text Analysis. Working paper, 2019.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory interního projektu Vysokého učení technického v Brně s registračním číslem FAST-J-22-8045.

Stanovení parametrů zemin pro výpočet kritické rychlosti zemin v trase VRT Moravská brána

Ing. Michal Petýrek¹, Ing. Jiří Pospíšil², Ing. Leoš Horníček³

Fakulta stavební ČVUT v Praze

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

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

e-mail_2: jiri.pospisil.1@fsv.cvut.cz,

e-mail_3: leos.hornicek@fsv.cvut.cz

Abstrakt

Příspěvek představuje výsledky rešerše parametrů zemin pro výpočet kritické rychlosti zemin v trase plánované vysokorychlostní trati Moravská brána. V příspěvku je přestaven stručný úvod do problematiky kritické rychlosti zemin a stručný popis geologie v oblasti Moravské brány. Dále je v článku zdůvodněno, proč byl vybrán tento úsek vysokorychlostní trati k posouzení z hlediska rizikovosti negativních projevů Rayleighova vlnění. V příspěvku je též představen postup výpočtu kritické rychlosti zeminy.

Klíčová slova

Rayleighovo vlnění, kritická rychlost zemin, VRT Moravská brána.

Determination of soil parameters for calculating the critical soil velocity on the HSL Moravska brana

Abstract

The contribution presents the results of the research of soil parameters for the calculation of the critical velocity of the soil in the route of the planned high-speed line Moravska brana. The contribution contains a brief introduction to the issue of the critical speed of the soil, as well as a brief description of the geology in the area of the Moravian Gate. The article also explains why this section of the high-speed line was chosen for assessment in terms of the risk of negative manifestations of Rayleigh waves. The article also presents the procedure for calculating the critical velocity of the soil.

Keywords

Rayleigh waves, critical soil velocity, HSL Moravska brana.

1. Úvod

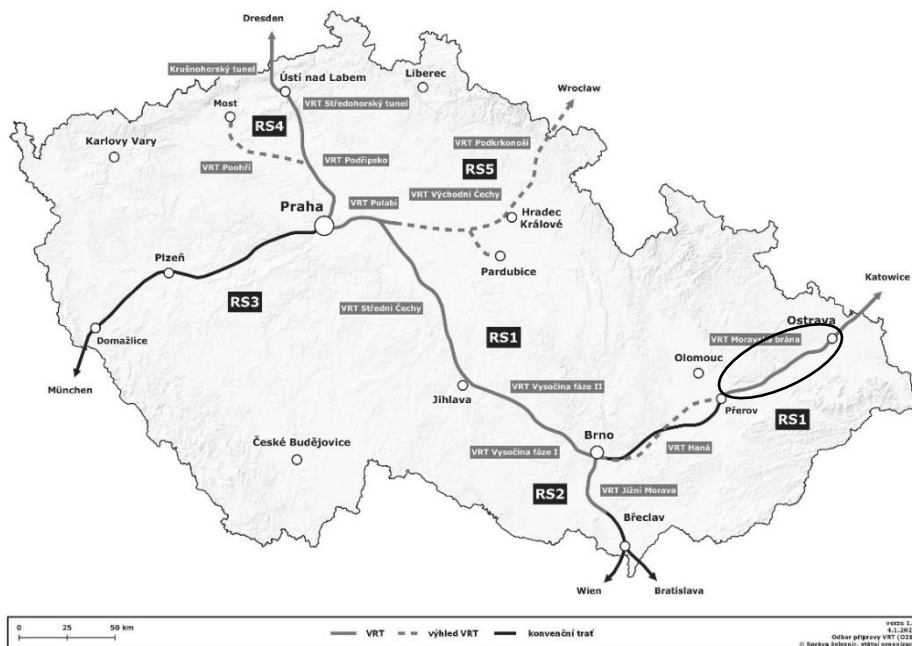
Provoz vysokorychlostních vlaků s sebou přináší nové technické výzvy, které dosud nebylo nutné v rámci přípravy železničních staveb v České republice řešit. Mezi ně patří i odezva podloží železniční trati na projíždějící vlaky, která může za příznivých okolností vyústit v tzv. zemní třesk. K němu dojde, pokud se rychlost pohybu zdroje vlnění (vlaku) přiblíží nebo rovná tzv. kritické rychlosti zeminy. Tento jev je ve své fyzikální podstatě obdobný jako aerodynamický třesk při překročení rychlosti zvuku [1].

Významný nárůst intenzity vibrací, který tento jev provází, se může negativně projevit například na stabilitě geometrické polohy koleje, stabilitě zemního tělesa, atd. [2].

Kritická rychlost je materiálová konstanta zemin. Její velikost odpovídá rychlosti šíření Rayleighova vlnění (povrchových seismických vln) zeminou. Jako nejvíce problematická se z hlediska nízkých kritických rychlostí zemin jeví místa s vrstvami jemnozrnných zemin s vysokou plasticitou, tj. vrstvami tvořených hlínami (MH, MV, ME) a jíly (CH, CV a CE). Rizikové jsou zejména, pokud jsou v podloží železniční trati zastoupeny ve vrstvách o velkých mocnostech. U měkkých jílovitých zemin se pohybuje okolo 200–300 km/h [1-2].

2. VRT Moravská brána

Vysokorychlostní trať Moravská brána je součástí Rychlého spojení 1 VRT Praha – Brno – Ostrava – Polsko. Trať bude dvukolejná, elektrifikovaná střídavou napájecí soustavou a zabezpečená jednotným evropským systémem ETCS s výhradním provozem vlaků osobní dopravy. Maximální rychlost vlaků bude 320 km/h a minimální 200 km/h. Samotná stavba je rozdělena na dva úseky. VRT Moravská brána I zahrnuje úsek Prosenice – Hranice na Moravě a VRT Moravská brána II zahrnuje úsek Hranice na Moravě – Ostrava-Svinov. [3] Na následujícím obrázku je představena plánovaná síť Rychlých spojení v České republice. V kroužku je vyznačena VRT Moravská brána. S ohledem na komplikovanou geologickou stavbu území a mocné vrstvy nestmelených materiálů v podloží byl pro posouzení kritické rychlosti zemin vybrán právě tento úsek.



Obr. 1. Mapa rychlých spojení [4]

3. Geologie Moravské brány

Moravská brána je geomorfologický celek na Moravě patřící do pásma Západních Vněkarpatských sníženin. Moravskou bránu tvoří protáhlá sníženina dlouhá asi 70 km mezi Podbeskydskou pahorkatinou (Karpaty) a Nízkým Jeseníkem (Hercynská pohoří). Jde o jednu z hlavních přirozených komunikačních spojnic v rámci střední Evropy mezi pobaltským a podunajským prostorem již odedávna využívanou lidmi i zvířaty k migraci. [5,6].

Moravskou bránu tvoří rovina nebo mírná pahorkatina vyplněná neogénními sedimenty s pokryvem uloženin pevninského ledovce a s rozsáhlými sprašovými pokryvy. Vzhled Moravské brány je výsledkem dlouhodobého geologického vývoje trvajícím přes 350 milionů let. Moravská brána tvoří morfologicky velice výraznou tektonicky vzniklou sníženinu SV-JZ směru. Její vznik souvisí s alpínským vrásněním. Jednotlivé příkrovy Karpat se nasouvaly k severovýchodnímu okraji Českého masivu a jejich tlakové působení mělo za následek rozlámání zarovnaného Českého masivu na kry. Poklesem právě jedné z těchto ker na východním okraji masivu vznikla příkopová propadlina – Moravská brána [5,6].

4. Parametry zemín pro výpočet kritické rychlosti

Výpočet kritické rychlosti zeminy je poměrně složitý, neboť se jedná o třífázové prostředí s komplikovanými vazbami. Pro přibližný výpočet kritické

rychlosti zeminy lze využít výpočet pro stanovení rychlosti šíření smykových vln v homogenním pružném poloprostoru a tu následně přepočítat na rychlost šíření Rayleighova vlnění, která je shodná s kritickou rychlostí zeminy. Pro výpočet rychlosti šíření smykových vln platí následující vztah [7]:

$$b = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2(1+\nu)\rho}}$$

kde b je rychlost šíření vln v pružném prostředí, ν je Poissonovo číslo, E je modul pružnosti a ρ je objemová hmotnost. Pro kritickou rychlost zeminy platí následující vztah [8]:

$$c_R = b \left(\frac{0,87 + 1,12\nu}{1 + \nu} \right)$$

kde c_R je kritická rychlost zeminy, b je rychlost šíření smykových vln a ν je Poissonovo číslo.

Je nutné zdůraznit, že parametry zeminy vstupující do výpočtu se v čase mění mimo jiné se změnou vlhkosti zeminy. Výpočet tedy dává pouze přibližné hodnoty kritické rychlosti zeminy a nezohledňuje případné vrstvy zemin s různými parametry. Pro stanovení přibližných hodnot kritické rychlosti zemin a tím definování úseků s možnou nízkou kritickou rychlostí zeminy toto řešení postačuje [5].

4.1. Problematika stanovení modelu pružnosti zemin

V praktické aplikaci mechaniky zemin lze deformační charakteristiky teorie pružnosti (modulu pružnosti E , Poissonovo číslo ν a smykový modul G) použít pouze v přesně definovaném rozsahu zatížení, kde lze obecně složitější závislost mezi přetvořením a napětím platnou pro zeminy nahradit Hookovým zákonem teorie pružnosti. Deformace zemin je oproti jiným pevným látkám v mnohem větší míře ovlivněna historií zatěžování, způsobem přitěžování a metodikou vlastní zkoušky (tvar zkušební vzorku, zatěžování za odvodněných či neodvodněných podmínek) [9].

Z výše uvedeného vyplývá, že v praxi se běžně modul pružnosti v rámci zkoušek prováděných při geotechnickém průzkumu nezjišťuje. Zjišťují se jiné moduly, které lépe popisují chování zeminy. Mezi ně patří například edometrický modul deformace E_{oed} , z něhož lze přepočítat modul pružnosti podle následujícího vztahu [9]:

$$E = E_{oed} \cdot \beta$$

kde E je modul pružnosti, E_{oed} je edometrický modul deformace a β je součinitel, který lze stanovit podle následujícího vztahu [9]:

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}$$

5. Parametry zemín v prostoru Moravské brány

V rámci projektové přípravy stavby VRT Moravská brána I, která se připravuje v rámci pilotních úseků vysokorychlostních tratí, se v současné době (léto 2022) provádí geotechnický průzkum. Jeho výsledky ještě nejsou k dispozici. Proto po konzultaci se zástupci Správy železnic bylo doporučeno využít archivních výsledků geotechnických průzkumů v okolí plánované trasy VRT.

Moravskou bránou prochází v relativním souběhu s plánovanou vysokorychlostní tratí dálnice D1. V rámci rešerše se pro příslušný úsek dálnice podařilo získat výsledky geotechnického průzkumu. Avšak získání dat nebylo jednoduché, neboť v květnu 2022 došlo k masivnímu hackerskému útoku na ŘSD, v jehož důsledku nebyla digitální data z průzkumů pro dálnici k dispozici. Po konzultaci se zástupcem ŘSD byly požadované podklady nalezeny v archivu Geofondu.

Níže jsou představeny parametry tak, jak byly získány pro jednotlivé stavební úseky dálnice, ke kterým se podařilo v archivu dohledat odpovídající průzkum.

Tab. 1 Úsek Přerov – Lipník nad Bečvou [10]

Úsek dle podkladů		Přerov - Lipník nad Bečvou						
Staničení VRT		km 15 - 30						
třída zeminy	$E_{oed} (0,05-0,1)$ [MPa]	$E_{oed} (0,1-0,2)$ [MPa]	$E_{oed} (0,2-0,3)$ [MPa]	$E_{oed} (0,3-0,4)$ [MPa]	$E_{oed} (0,4-0,6)$ [MPa]	E_{def} [MPa]	ν [-]	ρ [kg·m ⁻³]
G1 GW	.	.	.	.	.	.	.	.
G2 GP	.	.	.	.	.	8 - 80	.	1960,56
G3 GF	.	.	.	.	.	8 - 80	.	1960,56
G4 GM	.	.	.	.	.	8 - 80	.	1960,56
G5 GC	16,10	3,9 - 16,1	4,7 - 16,1	6,3 - 16,1	7,6 - 16,1	8 - 80	.	1989,36
S1 SW	.	.	.	.	.	.	.	.
S2 SP	.	.	.	.	.	.	.	.
S3 SF	.	.	.	.	.	8 - 80	.	1960,56
S4 SM	.	.	.	.	.	8 - 80	.	1960,56
S5 SC	.	.	.	.	.	8 - 80	.	1960,56
F1 MG	.	.	.	.	.	.	.	.
F2 CG	.	3,90	4,70	6,30	7,60	.	.	2068,00
F3 MS	.	.	.	.	.	.	.	.
F4 CS	9,70	10,03	11,74	14,28	9,3 - 19,7	.	.	2011,13
F5 ML	.	.	.	.	.	.	.	.
F5 MI	.	.	.	.	.	.	.	.
F6 CL	5,0 - 14,0	6,7 - 14,0	7,3 - 16,4	9,3 - 19,2	9,3 - 19,7	.	.	2016,12
F6 CI	5,0 - 14,0	6,7 - 14,1	7,3 - 16,4	9,3 - 19,2	9,3 - 19,7	.	.	2012,55
F7 MH	.	.	.	.	.	.	.	.
F7 MV	.	.	.	.	.	.	.	.
F7 ME	.	.	.	.	.	.	.	.
F8 CH	4,9 - 14,0	3,9 - 14,0	6,4 - 21,9	7,8 - 32,6	9,3 - 29,0	.	.	2008,84
F8 CV	4,9 - 14,0	5,3 - 14,0	6,4 - 21,9	7,8 - 32,6	9,3 - 29,0	.	.	2002,04
F8 CE	6,93	5,3 - 13,0	6,4 - 21,9	7,8 - 32,6	10,7 - 29,0	.	.	1998,40

Tab. 2 Úsek Hladké Žitovice – Bílovec [11]

Úsek dle podkladů		Bílovec - Ostrava, Rudná						
Staničení VRT		km 75 - 86						
třída zeminy	$E_{oed}(0,05-0,1)$	$E_{oed}(0,1-0,2)$	$E_{oed}(0,2-0,3)$	$E_{oed}(0,3-0,4)$	$E_{oed}(0,4-0,6)$	E_{def}	v	ρ
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[kg·m ⁻³]
G1 GW	.	.	.	.	.	.	.	.
G2 GP	.	.	.	.	.	.	.	.
G3 GF	.	.	.	.	.	.	.	.
G4 GM	6,83	10,70	13,90	21,40	.	.	.	2106,00
G5 GC	7,90	12,75	15,90	21,40	.	.	.	.
S1 SW	.	.	.	.	.	.	.	.
S2 SP	.	.	.	.	.	.	.	.
S3 SF	24,80	27,10	27,10	37,20	.	.	.	.
S4 SM	.	.	.	.	.	.	.	.
S5 SC	11,50	15,85	16,60	24,47	.	.	.	2116,50
F1 MG	.	.	.	.	.	.	.	.
F2 CG	.	.	.	.	.	.	.	.
F3 MS	6,50	8,10	11,50	15,00	.	.	.	1926,00
F4 CS	5,63	8,45	11,12	16,68	.	.	.	2119,44
F5 ML	.	.	.	.	.	.	.	.
F5 MI	4,20	6,00	11,50	.	.	.	.	1981,00
F6 CL	4,82	9,11	11,38	16,20	.	.	.	2077,33
F6 CI	4,93	8,06	10,63	14,20	.	.	.	2054,31
F7 MH	.	.	.	.	.	.	.	2026,00
F7 MV	.	.	.	.	.	.	.	.
F7 ME	.	.	.	.	.	.	.	.
F8 CH	4,47	9,50	8,79	8,3 - 17,6	.	.	.	1998,77
F8 CV	4,10	6,80	8 - 21,3	15,70	.	.	.	1945,50
F8 CE	.	.	.	.	.	.	.	.

Tab. 3 Bílovec – Rudná [12]

Úsek dle podkladů		Hladké Žitovice - Bílovec						
Staničení VRT		km 62 - 75						
třída zeminy	$E_{oed}(0,05-0,1)$	$E_{oed}(0,1-0,2)$	$E_{oed}(0,2-0,3)$	$E_{oed}(0,3-0,4)$	$E_{oed}(0,4-0,6)$	E_{def}	v	ρ
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[kg·m ⁻³]
G1 GW	.	.	.	.	.	.	.	.
G2 GP	.	.	.	.	.	.	.	.
G3 GF	.	.	.	.	.	.	.	.
G4 GM	.	.	.	.	.	.	.	.
G5 GC	.	.	.	.	.	.	.	2198,50
S1 SW	.	.	.	.	.	.	.	.
S2 SP	.	.	.	.	.	.	.	.
S3 SF	.	.	.	.	.	.	.	.
S4 SM	.	.	32,70	42,00	45,50	.	.	1877,50
S5 SC	.	.	.	.	.	.	.	2129,00
F1 MG	.	.	.	.	.	.	.	.
F2 CG	14,70	18,75	18,40	.	.	.	.	2111,33
F3 MS	.	.	.	.	.	.	.	.
F4 CS	4,50	7,59	8,93	17,84	18,31	.	.	2024,05
F5 ML	.	.	.	.	.	.	.	.
F5 MI	.	.	.	.	.	.	.	.
F6 CL	8,88	10,51	13,84	.	.	.	.	2015,56
F6 CI	7,72	8,33	10,12	18,60	19,17	.	.	2008,01
F7 MH	.	.	.	.	.	.	.	.
F7 MV	.	.	.	.	.	.	.	.
F7 ME	.	.	.	.	.	.	.	.
F8 CH	3,70	5,47	8,18	21,97	22,91	.	.	1999,85
F8 CV	.	6,90	8,50	.	.	.	.	1914,00
F8 CE	.	.	.	.	.	.	.	.

6. Závěr

Cílem článku je představit vstupní parametry pro výpočet kritické rychlosti zemin, které budou s vysokou mírou pravděpodobnosti zastiženy při výstavbě vysokorychlostní trati. Tato rešerše parametrů zemin byla provedena s ohledem na nutnost zpřesnit výsledky rešerše představené na minulém ročníku konference Želva. Na základě parametrů zemin bude stanovena pro jednotlivé typy zemin kritická rychlost a poté bude vytvořena speciální účelová mapa zobrazující rizikovost negativních projevů Rayleighova vlnění v trase VR Moravská brána.

Literatura

- [1] HU Jing, BIAN Xuecheng a JIANG Jianqun. Critical Velocity of High-Speed Train Running on Soft Soil and Induced Dynamic Soil Response. In: Procedia Engineering: Advances in Transportation Geotechnics 3. The 3rd International Conference on Transportation Geotechnics [online]. Elsevier, 2016, s. 1034–1042 [cit. 2018-11-16]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816305422>.
- [2] Technicko-provozní studie Technická řešení VRT. SUDOP Praha, 2017.
- [3] Správa železnic: VRT Moravská brána I [online]. [cit. 2022-09-01]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/vrt/moravska-brana>
- [4] Mapa pokrytí VRT v ČR. In: Správa železnic [online]. [cit. 2022-09-01]. Dostupné z: https://www.spravazeleznic.cz/documents/50004227/119292901/2021_01_20+Mapa+6+Pokryt%C3%AD+VRT+v+%C4%8CR.jpg/f270350a-c37d-4eb5-a782-7166375ac56a?t=1614159860605
- [5] Moravská brána. Wikipedie: Otevřená encyklopedie [online]. [cit. 2022-09-01]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Moravsk%C3%A1_br%C3%A1na
- [6] HRNČIAROVÁ Jana. Dokumentace miocenních sedimentů v okolí cementárny v Hranicích [online]. Brno, 2010 [cit. 2022-09-01]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/tblp86/>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta.
- [7] KOLOUŠEK Vladimír. Stavebné konštrukcie namáhané dynamickými účinkami. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1967.
- [8] VIKTOROV I.A., Rayleigh and Lamb Waves: Physical Theory and Applications, Plenum Press (1970).
- [9] DEFORMAČNÍ CHARAKTERISTIKY ZEMIN [online]. In: [cit. 2022-09-01]. Dostupné z: <http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2020/04/prednaska-c-6-deformacni-charakteristiky-zemin-vanicek.pdf>.
- [10] INSET a GEOTEST BRNO. Dálnice D1, staba 0137, Přerov - Lipník n. B.: Podrobný geotechnický průzkum. Brno, 2005.
- [11] INSET a GEOTEST BRNO. Dálnice D47, stavba 4706, Hladké Životice - Bílovec: Podrobný geotechnický průzkum. Brno, 2003.
- [12] GEOTEST. Dálnice D47, stavba 4707 Bílovec - Ostrava Rudná: Podrobný geotechnický průzkum. Brno, 1998.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS SGS21/103/OHK1/2T/11.

Zrnitost kameniva asfaltového betonu pro vysokorychlostní tratě v České republice

Ing. Jiří Pospíšil¹, Ing. Jan Valentin, Ph.D.²,
Ing. Leoš Horníček, Ph.D.³

Fakulta stavební ČVUT v Praze

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

e-mail_1: jiri.pospisil.1@fsv.cvut.cz,

e-mail_2: jan.valentin@fsv.cvut.cz,

e-mail_3: leos.hornicek@fsv.cvut.cz

Abstrakt

V České republice se aktuálně intenzivně pracuje na přípravě výstavby vysokorychlostních tratí podle principů převzatých z Francie. Konstrukce pražcového podloží těchto vysokorychlostních tratí má být kromě jiného tvořena také vrstvou z asfaltového betonu. Požadavky na asfaltový beton pro konstrukci pražcového podloží jsou však v České republice definovány pouze pro tratě s rychlostí do 200 km·h⁻¹ včetně a od požadavků stanovených ve Francii se liší, a to zejména v zrnitostním oboru kameniva. Tento příspěvek se zabývá rozdíly mezi českým a francouzským přístupem ve stanovení požadavků na zrnitost kameniva asfaltového betonu pro železniční stavby s motivací pro možnou budoucí optimalizaci parametrů asfaltového betonu pro vysokorychlostní tratě v České republice.

Klíčová slova

Asfaltový beton, kamenivo, křivka zrnitosti, mezerovitost, vysokorychlostní trať, pražcové podloží.

Grading of asphalt concrete aggregate for high-speed lines in the Czech Republic

Abstract

In the Czech Republic, an intensive preparation of high-speed lines construction according to principles adopted from France is currently being done. The substructure of these high-speed lines is among others to be made of a layer of asphalt concrete. However, the requirements for asphalt concrete for the railway substructure in the Czech Republic are defined only for lines with a speed of up to and including 200 km·h⁻¹ and they differ from the requirements set in France, especially in the field of grading of aggregates. This paper deals with the differences between the Czech and French approaches in determining the requirements for the grading of asphalt concrete aggregates for railway structures with motivation for the possible future optimization of asphalt concrete parameters for high-speed lines in the Czech Republic.

Keywords

Asphalt concrete, aggregate, grain-size curve, porosity, high-speed line, railway substructure.

1. Úvod

Asfaltový beton je v současné době v Evropě vnímán jako kompozitní materiál, který je používán nejen v silničním, ale také v železničním stavitelství. V železničním stavitelství se nejčastěji používá v pražcovém podloží jako materiál horní konstrukční vrstvy [1]. K jeho největším výhodám patří jeho vysoká tuhost a nízká tepelná vodivost, což vede ve srovnání s běžnými konstrukcemi tvořenými pouze nestmelenými materiály ke značným úsporám na celkové tloušťce konstrukce pražcového podloží [1].

Ve Francii se používá asfaltový beton označený jako GB 4. Požadavky na jeho vlastnosti jsou definovány národní přílohou normy NF EN 13108-1 [2] a využívá se zejména pro konstrukci pražcového podloží nových úseků vysokorychlostních tratí [3]. V České republice se asfaltový beton pro konstrukční vrstvy označuje jako AC Z+ a požadavky na jeho vlastnosti jsou definovány přílohou F normy ČSN 73 6120 [4] a přílohou 12 předpisu SŽ S4 [5]. Ty lze ovšem aplikovat pouze pro tratě s rychlostí do $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ včetně. V letech 2019 až 2020 došlo v rámci spolupráce Správy železnic, s. o., a francouzské národní železniční společnosti SNCF ke zpřístupnění francouzského know-how o vysokorychlostních tratích a k jeho přizpůsobení českým podmínkám. Na základě těchto principů se momentálně postupuje při přípravě výstavby vysokorychlostních tratí v České republice. V konstrukci pražcového podloží se jako standardní řešení předpokládá aplikace konstrukční vrstvy z asfaltového betonu [6].

Pro stanovení požadavků na vlastnosti asfaltového betonu pro vysokorychlostní tratě v České republice se tedy nabízí úprava přílohy F normy [4] po vzoru národní přílohy normy [2] a rozšíření její platnosti i pro tratě s rychlostí vyšší než $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. V obou zemích jsou však standardizovány jiné zkušební postupy, používají se jiné vstupní materiály nebo jsou jinak definovány požadavky na jejich kvalitu, a to zejména v zrnitostním oboru kameniva. Cílem tohoto příspěvku je tedy vystihnout vzájemné odlišnosti mezi českým a francouzským přístupem, aby mohly být francouzské zkušenosti snáze interpretovány v českých podmínkách.

2. Křivka zrnitosti

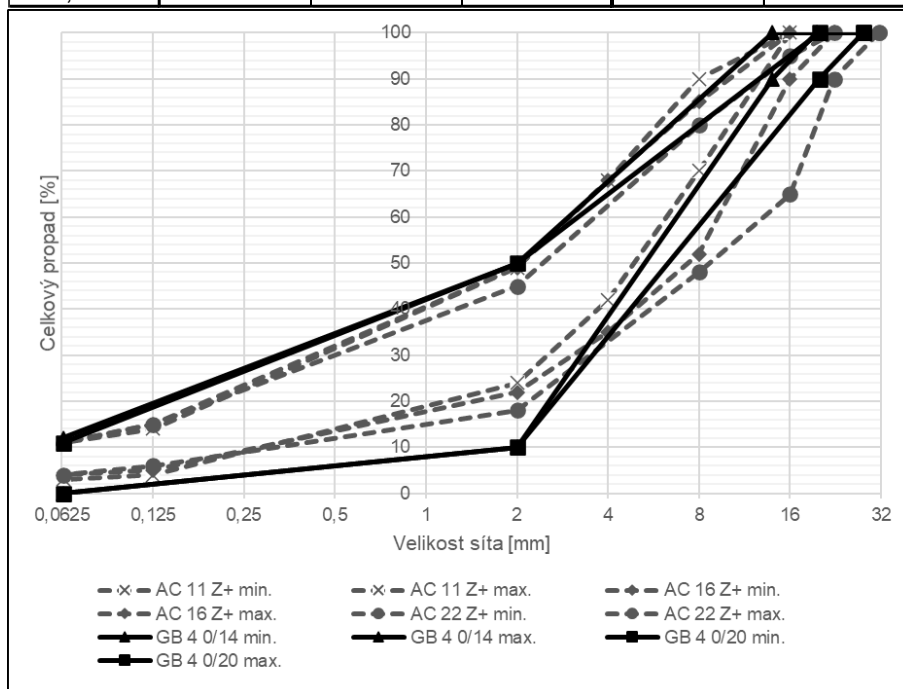
Asfaltový beton je jednou ze základních asfaltových směsí vyznačující se plynulou křivkou zrnitosti. Nosnou kostru zhutněné vrstvy tedy vzájemným dotykem zrn tvoří všechny frakce kameniva [7].

Zatímco v České republice se pro stanovení křivky zrnitosti kameniva historicky dle národních zvyklostí používá normová sada sít s oky o velikosti 0,063 mm, 0,125 mm, ..., 8 mm, 11,2 mm, 16 mm, 22,4 mm a 31,5 mm [4], ve Francii jsou křivky zrnitosti kameniva pro asfaltový beton třídy GB 4 definovány pro sadu 0,063 mm, 0,125 mm, ..., 8 mm, 10 mm, 12,5 mm, 14 mm, 16 mm, 20 mm a 31,5 mm [2]. Podle normy [2] jsou navíc celkové propady definovány pouze na čtyřech sítích, a to 0,063 mm, 2 mm, D a $1,4D$, kde D je velikost největšího zrna dané frakce. Požadavky na zastoupení

jednotlivých frakcí jsou tedy definovány pouze pro filer (0,063 mm), střední velikost zrn (2 mm), největší velikost zrn (D) a nadsítiné kamenivo (1,4 D). V tab. 1 a na obr. 1 jsou zobrazeny požadavky na křivky zrnitosti různých asfaltových betonů dle norem [4] a [2].

Tab. 1 Požadavky na křivku zrnitosti kameniva asfaltového betonu typu AC Z+ a GB 4

Síto [mm]	ČSN 73 6120 [4], příloha F			NF EN 13108-1 [2]	
	AC 11 Z+	AC 16 Z+	AC 22 Z+	GB 4 0/14	GB 4 0/20
31,5			100		
28					100
22,4		100	90 - 100		
20					90 - 100
19,6				100	
16	100	90 - 100	65 - 95		
14				90 - 100	
8	70 - 90	52 - 85	48 - 80		
4	42 - 68	35 - 68			
2	24 - 49	22 - 49	18 - 45	10 - 50	10 - 50
0,125	4 - 14	5 - 15	6 - 15		
0,063	3 - 11	4 - 11	4 - 11	0 - 12	0 - 11



Obr. 1. Požadavky na křivku zrnitosti kameniva asfaltového betonu typu AC Z+ [4] a GB 4 [2]

Z obr. 1 vyplývá, že pro asfaltový beton typu GB 4 jsou v oblasti velikosti síta od 0 mm do 2 mm stanoveny méně striktní požadavky na křivku zrnitosti kameniva než pro asfaltový beton typu AC Z+. Horní i dolní hranice vymežující oblasti křivek zrnitosti dovolují v případě asfaltových betonů typu GB 4 jejich větší rozsah. V České republice je tak více dbáno na technologické dodržení kvality asfaltové směsi při její výrobě, a tak jsou požadavky na minimální obsah jemných částic, které se stávají součástí asfaltového tmelu, nastaveny striktněji.

Nejvýznamnější rozdíl mezi křivkami zrnitosti kameniva asfaltových betonů typu AC Z+ a GB 4 je patrný v oblasti velikosti síta 2 mm, kde je dolní hranice vymežující oblast křivek zrnitosti v případě GB 4 oproti AC Z+ posunuta níže. To dále ovlivňuje jejich plynulost, a tedy i mezerovitost asfaltového betonu, jejíž nízká hodnota je důležitá pro nepropustnost vrstvy z asfaltového betonu a ochranu jejího podloží proti rozbřednutí v případě přívalových srážek. Příliš nízká mezerovitost materiálu má však na druhou stranu tu nevýhodu, že při opakovaném zatížení asfaltové vrstvy nemá pojivo a tmel prostor pro posun vyvolaný kumulovanou deformací v rámci struktury směsi. Tyto složky jsou pak tedy nuceny hledat cestu mimo strukturu směsi a dochází tak k vytvoření trvalé deformace (v oblasti silniční infrastruktury ji obvykle označujeme jako tzv. „vyjeté koleje“).

Skutečností ale také je, že pevninská Francie zasahuje na rozdíl od České republiky do čtyřech klimatických zón a roční průběhy srážek se například v oblasti Marseille a Bretaně významně liší [8]. To může být také důvodem, proč jsou hranice vymežující oblast křivek zrnitosti kameniva asfaltového betonu typu GB 4 nastaveny tak široce – je pak zodpovědností každé stavební společnosti, aby v dané lokalitě bylo použito kamenivo s tou nejvhodnější a současně ekonomicky nejvýhodnější křivkou zrnitosti a mezerovitostí.

2.1. Mezerovitost

Křivka zrnitosti kameniva a zastoupení jeho jednotlivých frakcí v asfaltové směsi má zásadní vliv na její mezerovitost. Norma [4] požaduje v případě asfaltového betonu typu AC Z+ maximální mezerovitost směsi 5,0 % až 5,5 % dle největší velikosti zrna kameniva, pro asfaltový beton typu GB 4 je podle normy [2] maximální mezerovitost stanovena na 9 %. Meze uplatněné v rámci ČR vyplynuly z diskusí, které byly vedeny při revizi předpisu [5], kdy byla více akcentována minimální permeabilita vody u asfaltové vrstvy.

Mezerovitost se stanovuje jako poměr objemové hmotnosti zkušebního tělesa a maximální objemové hmotnosti stanovené pyknometrickou zkouškou [9]. Pro zhutnění zkušebního tělesa se však v České republice (obdobně jako ve většině evropských zemí) využívá Marshallův pěch, tedy hutnění 2x50 nebo 2x75 úderů pěchu definovaných rozměrů a rázové hutnicí energie [10], zatímco ve Francii se zkušební tělesa hutní 100 nebo 120 otáčkami na gyrátoru [11]. Je tedy patrné, že požadované hodnoty mezerovitosti dle norem [4] a [2] mezi sebou nelze snadno porovnávat.

Podle požadavků na křivku zrnitosti kameniva, které v případě asfaltového betonu typu AC Z+ zajišťují její větší plynulost než v případě asfaltového betonu typu GB 4 (viz obr. 1), však lze odhadnout, že maximální mezerovitost asfaltového betonu typu GB 4 může být skutečně vyšší než maximální mezerovitost asfaltového betonu typu AC Z+.

3. Závěr

Průběh křivky zrnitosti kameniva pro asfaltový beton typu AC Z+ je oproti asfaltovému betonu typu GB 4 vymezen striktněji, a to zejména v oblasti střední velikosti zrn (2 mm). Širší možnosti pro zastoupení jednotlivých frakcí jsou ve Francii odůvodněny pravděpodobně její rozlohou přes vícero klimatických oblastí, a tedy širšími možnostmi pro výběr nejvhodnějšího a zároveň ekonomicky nejvýhodnějšího materiálu pro danou lokalitu.

V případě asfaltového betonu typu GB 4 jsou také stanoveny méně striktní požadavky na plynulost křivky zrnitosti kameniva, což dále ovlivňuje mezerovitost asfaltové směsi. Rozdíl mezi požadavky na mezerovitost asfaltových betonů typu AC Z+ a GB 4 dle norem [4] a [2] však vzhledem k odlišnosti postupů hutnění zkušebních těles v České republice a ve Francii nelze jednoznačně stanovit. Autoři se proto dále experimentálně věnují vlivu postupu hutnění zkušebních těles pomocí Marshallova pěchu a gyrátoru na výslednou hodnotu mezerovitosti a dalších charakteristik.

Literatura

- [1] European Asphalt Pavement Association (EAPA). *Asphalt in Railway Tracks*. Technical Review. Brussel: EAPA, 2021.
- [2] NF EN 13108-1. *Mélanges bitumineux – Spécifications des matériaux – Partie 1: Enrobés bitumineux*. Saint-Denis: Association Française de Normalisation, 2007.
- [3] HÉRITIER, Bernard. GB sous ballast: une solution innovante pour la grande vitesse. In: *RGRA*. N° 976, Grave bitume ferroviaire, říjen 2020.
- [4] ČSN 73 6120. *Stavba vozovek – ostatní asfaltové vrstvy – provádění kontroly*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [5] SŽ S4. *Železniční spodek*. Praha: Správa železnic, s. o., 2021.
- [6] SŽ PO-16/2020-GŘ. *Manuál pro projektování vysokorychlostních tratí ve stupni dokumentace pro vydání územního rozhodnutí*. Praha: Správa železnic, s. o., 2021.
- [7] HÝZL, Petr. Modul 6. Asfaltové směsi. In: *Praktické aplikace v pozemních komunikacích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006.
- [8] *The World Factbook* [online]. Central Intelligence Agency, 2022. [vid. 2022-08-09]. Dostupné z: <https://www.cia.gov/the-world-factbook>
- [9] ČSN EN 12697-8. *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [10] ČSN EN 12697-30. *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [11] NF EN 12697-31. *Mélanges bitumineux. Méthodes d'essai. Partie 31: Confection d'éprouvettes à la presse à compactage giratoire*. Saint-Denis: Association Française de Normalisation, 2019.

Poděkování

Tento příspěvek byl vytvořen se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Doprava 2020+, projekt CK02000293.

Řešení přetížené kapacity železniční dopravní infrastruktury – přístup tuzemské a zahraniční legislativy a předpisů

Ing. Pavel Purkart¹

Fakulta dopravní ČVUT v Praze, Ústav dopravních systémů

Horská 3, 128 03, Praha 2

e-mail_1: purkapav@fd.cvut.cz

Abstrakt

Řešení problematiky kapacity železniční dopravní cesty je v současnosti velmi aktuální téma. Dopravní cesta, která není schopna pojmout kvalitně všechny požadavky objednatelů veřejných služeb cestujících, resp. dopravců, není dostatečně atraktivní a ve výsledku je problematická pro zákazníky jak v osobní, tak nákladní dopravě. S tímto fenoménem se setkáváme nejen v tuzemských podmínkách, ale též v zahraničních oblastech, kde role železnice v dopravní obsluze území hraje významný vliv a dokáže konkurovat jiným módům dopravy. Cílem tohoto příspěvku je poukázat na vybrané pasáže legislativy a předpisů jak v tuzemsku, tak v zahraničí, a to s přihlédnutím na skutečnosti, jak je tato problematika konkrétně řešena. Příspěvek diskutuje a porovnává jednotlivé přístupy z vícero evropských zemí a zmiňuje konkrétní materiály, které se touto problematikou zabývají. Okrajově se též příspěvek věnuje vybraným praktickým aplikacím a ukázkám konkrétních opatření, která jsou zpracována na základě legislativních požadavků. V závěru jsou pak zhodnoceny jednotlivé přístupy včetně jejich porovnání.

Klíčová slova

Železniční dopravní cesta, přetížená kapacita, legislativa, předpisy, přístupy k řešení.

Solving the overloaded capacity of the railway traffic path – the approach of domestic and foreign legislation and regulations

Abstract

Solving the issue of railway traffic path capacity is currently a very topical issue. A transport route that is not capable to suit all the requirements of public passenger service customers, or carriers, is not attractive enough and as a result is problematic for customers in both passenger and freight transport. We can see this phenomenon not only in domestic conditions, but also in foreign areas, where the role of railways in the transport service of the territory plays a significant influence and can compete with other modes of transport. The aim of this contribution is to point out selected passages of legislation and regulations both in the country and abroad, taking into account the reality of how this issue is specifically addressed. The contribution discusses and compares individual approaches from several European countries and mentions specific materials that deal with this issue. On the margins, the contribution is also devoted to selected practical applications and examples of specific measures that are processed on the basis of legislative requirements. At the end, individual approaches are evaluated, including their comparison

Keywords

Railway traffic path, overloaded capacity, legislation, regulations, approaches for solution.

1. Úvod

Příspěvek se zabývá tématem, které v odborných kruzích velmi často vyvolává diskuse a není uspokojivě řešeno či dokonce neexistují jednotné postupy k jeho vyřešení.

Zejména na velmi vytížených železničních tratích je nutné zabývat se otázkou kapacity železniční dopravní cesty a jejího konkrétního využití tak, aby efekty z jejího využívání byly pro společnost i provozovatele dráhy optimální. V současnosti jsme velmi často svědky skutečnosti, že v mnohých místech je kapacita zcela vyčerpána a trasy jednotlivých segmentů dopravy na takových tratích dosahují obtížné kooperace. Cílem je často vyhovět všem požadavkům na přidělení kapacity železniční dopravní cesty tak, aby byly uspokojeny, otázkou je však pak kvalita takto přidělených tras.

Příspěvek zejména nabízí pohledy do nejen českých, ale i zahraničních předpisů a legislativy, jak je tato problematika vnímána. V neposlední řadě se věnuje okrajově vybraným praktickým aplikacím a porovnání jednotlivých přístupů.

2. Kapitola

V případě problematiky je jednoznačně skutečností, že se nejedná o problém pouze tuzemský, ale též zahraniční. V tomto případě neexistují jednoznačně shodné postupy, jak se postavit k řešení zmíněné problematiky. Proto je tato kapitola rozdělena na tři podkapitoly, a to nejdříve dvě zabývající se zvláště situací v tuzemsku a zahraničí, a dále kapitolu ukazující vybrané příklady aplikace opatření.

2.1. Česká legislativa a předpisy

Problematika přidělování kapacity dráhy v českých podmínkách je v základu zakotvena v zákoně č. 266/1994 Sb., o drahách, ve znění pozdějších předpisů. Zákon se zabývá postupem v případě prohlášení dráhy za přetíženou, a to v §23 odst. 5 až 7. Zákon tak obsahuje mechanismy, jak se postupuje v případě prohlášení dráhy jejím provozovatelem za přetíženou, nastaví povinnosti na straně provozovatele dráhy a v případě, že přidělená kapacita na takové dráze není dopravcem využita, definuje možnost výzvy vůči danému dopravci ke vzdání se přidělené kapacity. Autorovi příspěvku však není známo, že by reálně v českých podmínkách taková situace nastala; vždy je snaha k přidělu v takovém případě přistupovat kompromisem tak, aby byly uspokojivě vyřešeny všechny požadavky (alespoň v osobní dopravě), a to i se zohledněním skutečnosti, že mohou být v takovém případě využity odklonové trasy, a že část méně významných přeprav musí být realizována v módu náhradní autobusové dopravy. Zákon dále definuje v §23b a §23c možnosti omezení provozování dráhy. Provozovatel dráhy je povinen případná omezení projednat nejen s dotčenými dopravci, ale v podstatě i objednateli veřejných služeb v přepravě cestujících. V případě krajů je explicitně uvedeno „*S krajem, na jehož území se dráha nebo její část dotčená omezením nachází.*“

Pro přidělování kapacity dráhy je klíčový celý oddíl §32 až §34. Kapacita je přidělována na období platnosti železničního jízdního řádu a pokud je dráha vlastněna státem, právo přidělce kapacity dráhy náleží státní organizaci Správa železnic. Zákon také definuje situace na hranicích provozovatelů drah, kdy tito provozovatelé dráhy jsou zavázáni spolupracovat za účelem uspokojení požadavků dopravců. U mezinárodních tras je pak nutná příprava ve značném časovém předstihu – návrhy mezinárodních tras vlaků projedná společný koordinační orgán nejpozději 11 měsíců před nabytím platnosti jízdního řádu.

Každý provozovatel dráhy je povinen vydat tzv. prohlášení o dráze, které stanovuje podmínky přidělení a odnímání kapacity dráhy. Zároveň přidělci dráhy umožňuje zákon určitou variabilitu, pokud dochází k přidělu tras, a to ve smyslu, pokud je dostupná trasa vlaků mezi dvěma totožnými místy na dráze při využití jiné dráhy se srovnatelnými provozně technickými vlastnostmi, může přidělce určit dráhu nebo její část, na níž bude přednostně přidělovat kapacitu dráhy. Toto však musí projednat s příslušnými dopravci a objednateli služeb ve veřejných službách v přepravě cestujících. Dále zákon stanovuje základní pravidla při přidělování kapacity dráhy při zpracování jízdního řádu a jeho změny. Pro osobní dopravu je v tomto případě klíčový paragraf §34a odst. 4 až 7, které stanovují priority přidělování tras, a tyto následně přebírá i Prohlášení o dráze Správy železnic, které je vydáváno na každý jízdní řád separátně.

Problematickou kapacity dráhy se zevrubně zabývá směrnice SM124 Zjišťování kapacity dráhy vydaná Správou železnic v roce 2019. Tato směrnice posuzuje kapacitu dráhy komplexnějším způsobem, přičemž uvádí, že je klíčová i kvalita konstruovaných tras. Směrnice jasně uvádí, že železniční infrastruktura musí kvalitně a ekonomicky zvládat nároky na ní kladené. Proto je potřeba znát kapacitu infrastruktury a s tímto parametrem pracovat. Směrnice tak upravuje metodiku zjišťování kapacity traťových kolejí, zhlaví a kolejových skupin. Pro všechna tato zařízení jsou ve směrnici popsány využití metody. Směrnice SM124 upravuje metodiku pro zjišťování kapacity traťových kolejí, zhlaví a kolejových skupin. Postupy uvedené v této směrnici se používají pro posuzování jak stávající infrastruktury a stávajícího provozu, tak jejich změn.

Zvláštní pozornost si ve směrnici zaslouhuje definice pojmu kapacita, který je proveden následovně: „*Kapacita představuje schopnost realizovat určitý dopravní výkon v určité kvalitě.*“ Tato definice kapacity koreluje s tvrzením výše, že je potřebná určitá garance kvality přidělovaných tras.

Rozlišují se dva typy limitních hodnot, a to hodnota optimální a kritická. Pro provoz je ideální, aby sledovaná hodnota nepřesahovala mez optimální. Pokud toto nastane, existuje riziko nedostatečné kvality. Pokud hodnota přesáhne mez kritickou, je třeba již nedostatečnou kvalitu předpokládat a takovou část infrastruktury lze považovat za přetíženou. Vztah mezi mírou zatížení, předpokládanou kvalitou a hodnotou ukazatelů kapacity ilustruje následující Tabulka 1.

Tab. 1 Vztah mezi mírou zatížení, předpokládanou kvalitou a hodnotou ukazatelů kapacity

barva	zatížení	vztah zjištěných ukazatelů kapacity k příslušným limitním hodnotám	úroveň kvality	předpokládaná hodnota zpoždění ⁵
	zařízení s kapacitními rezervami	ukazatele kapacity jsou nižší než optimální hodnoty	optimální	pokles
	přiměřeně zatížené zařízení	ukazatele kapacity dosahují optimálních hodnot		přibližně beze změny
	silně zatížené zařízení	ukazatele kapacity jsou vyšší než optimální a současně nižší než kritické hodnoty	riziková	nárůst
	přetížené zařízení	ukazatele kapacity překračují kritické hodnoty	nedostatečná	výraznější nárůst

Zdroj: směrnice SŽ SM 124, str. 35

2.2. Zahraniční legislativa a předpisy

V případě zahraniční se analýza zaměřuje především na Německo, Rakousko a Švýcarsko.

V německém případě se aplikuje Eisenbahnregulierungsgesetz (ERegG) (2016). Zákon definuje dva základní pojmy:

- Přetížená železniční trať = takový traťový úsek, na kterém nelze v přiměřeném množství uspokojit poptávku po vlakových trasách ani po koordinaci různých žádostí o přidělení vlakových tras v určitém časovém období.
- Plán na zvýšení kapacity dráhy = harmonogram opatření nebo řady opatření s cílem odstranění úzkých kapacitních hrdel, která by mohla zapříčinit prohlášení tohoto traťového úseku za přetížený.

Klíčové pro problematiku jsou § 55 Přetížené železniční tratě, § 58 Kapacitní analýza a § 59 Plán na zvýšení kapacity dráhy. Aplikuje se následující postup: Nejdříve dojde k vyhlášení předmětného úseku za přetížený, což jeho provozovatele zavazuje provést kapacitní analýzu, pokud již dříve nezpracoval pro tento úsek dráhy konkrétní plán na zvýšení jeho kapacity. Na přetížených úsecích mají opět přednost vlaky k zajištění dopravní obslužnosti území.

V zákoně je přímo popsán i účel provádění kapacitní analýzy. Kromě stanovení úzkých hrdel se jedná především o návrh řešení zkapacitnění přetížených úseků železničních tratí. Kapacitní analýza musí být přitom zpracována v termínu šesti měsíců od prohlášení předmětné části infrastruktury za přetíženou.

Na základě tohoto zákona stejně jako u Správy železnic v ČR, která vydává každoročně Prohlášení o dráze, existuje na síti DB předpis, který dále tuto problematiku rozvíjí a upřesňuje. Jedná se o Schienennetz-Benutzungsbedingungen der DB Netz AG.

I v případě Rakouska je k dispozici konkrétní legislativa, která řeší v této kapitole vzpomínanou problematiku. Zde se jedná o Bundesgesetz über Eisenbahnen, Schienenfahrzeuge auf Eisenbahnen und den Verkehr auf Eisenbahnen (Eisenbahngesetz 1957 – EISbG), znění účinné od 22. 12. 2020. V tomto zákoně jsou definovány záležitosti, které se týkají železničních tratí prohlášených za přetížené. Problematika řešení přetížených úseků infrastruktury je umístěna v šesté části tohoto zákona a má prakticky obdobně znějící paragrafy jako německý zákon.

Konkrétnější údaje jsou uvedené v aktuálním vydání dokumentu Schienennetz-Nutzungsbedingungen (SNNB). Znění legislativy (jak EISbG, tak SNNB) je v zásadě obdobné jako v německém případě.

Je zajímavé, že jak v Německu, tak v Rakousku se zmiňuje v legislativě možnost zvýšit poplatky za užití dopravní cesty na velmi vytížených úsecích železniční sítě, z materiálů je pak zřejmé, že v Rakousku se tohoto také aktivně využívá.

Také ve Švýcarsku je problematika přetížených železničních tratí řešena legislativně. Zde je pilířem zákon Eisenbahn-Netzzugangsverordnung ze dne 25. listopadu 1998, znění účinné od 1. ledna 2021 (NZV). V tomto dokumentu jsou definovány záležitosti, které se týkají železničních tratí prohlášených za přetížené, velmi elegantně a jednoduše.

Zde je vhodné zmínit odlišnost od Německa a Rakouska, kdy kapacitní analýza musí být zveřejněna již tři měsíce od prohlášení úseku za přetížený, tedy ve Švýcarsku je čas na zpracování této analýzy poloviční.

Konkrétnější údaje jsou uvedené v aktuálním vydání dokumentu Network Statement (NWS). Pokud není možné vyhovět požadavku na přidělení trasy kvůli nedostatečné kapacitě železniční trati nebo je téměř jisté, že kapacita na této trati bude vyčerpána, prohlásí přidělcce kapacity odpovídající trať za přetíženou. V tomto případě je přidělcce oprávněn v souladu s čl. 12a, odst. 3 dokumentu NZV zrušit již přidělené trasy některým vlakům a dále je již nenabízet, jestliže se tím umožní lepšího využívání kapacity na trati. Kromě toho mohou být vlakové trasy odebrány a přiřazeny jinému žadateli, pokud jsou tyto vlakové trasy na přetížené trase využívány v menší míře, než je stanoveno ve čl. 12, odst. 4 dokumentu NZV.

2.3. Vybrané příklady aplikace opatření

V prvním případě lze zmínit hospodaření s kapacitou jako s vzácným statkem, které není odvislé od úprav infrastruktury nebo provádění významných infrastrukturních opatření. Zde lze zmínit za účelem dosažení rovnoběžnosti grafikonu vlakové dopravy či zkrácení cestovních dob využívání projíždění vlaků tarifními body s nízkou poptávkou cestujících, příp. zavedení pásmového provozu (typicky například trať 178 Plzeň – Cheb nebo model na trati 170 v úseku Beroun – Klatovy, kde se vzájemně doplňují jednotlivé segmenty linek na infrastrukturu provozovaných).

V Bavorsku se velmi často využívá v blízkosti velkých železničních uzlů (např. Nürnberg, München) spojování souprav vlaků jedoucích z uzlu ve stejných směrech. Tyto soupravy se rozpojují či spojují až zpravidla ve vnějším aglomeračním pásmu jednotlivých oblastí a odsud často již jednotlivé jednotky pokračují do svých cílových stanic nebo sem naopak za účelem spojování příjezdějí. Spojování i rozpojování jednotek probíhá velmi rychle (v řádu jednotek minut), aby byl negativní dopad tohoto technologického úkonu na cestující minimální.

Jedním z typických případů je spojování vlaků v norimberské aglomeraci, které dokazuje obrázek 1 (spojené vlaky vyznačené červenými obdélníčky).

Zug	RE 32 3457	RB34 84657 2	RE 30 3087	RE 33 5287	RB24 84685 2	RE 32 3477	RE 30 3409	RE 31 3429	RB24 84679 2	RB95 20880 d.B.2.-A	RE 32 3459	RB34 84663 2	RE 30 3089	RE 33 5289	RB24 84631 2	RE 32 3479	
	Mo-Fr										Mo-Fr						
von																	
Nürnberg Hof 4	12 05	12 37	12 37	13 05	13 38	13 38					14 05	14 37	14 37			15 05	
Hersbruck (r Pegnitz)	12 19			13 19							14 19					15 19	
Hersbruck (r Pegnitz)	12 19			13 20							14 20					15 20	
Neuhaus (Pegnitz)		13 06	13 06		14 06	14 06					14 43	15 06	15 06			15 43	
Pegnitz	12 42	13 14	13 14	13 42	14 15	14 15					14 42	15 14	15 14			15 42	
Pegnitz	12 43			13 43							14 43					15 43	
Schnabelwaid				14 23							14 58					15 52	
Creußen (Oberfr)				13 52	14 27											16 00	
Bayreuth Hof	850, 862, 867		13 31		14 00				14 24								
Bayreuth Hof		13 00	13 32								15 01	15 32					
Münchberg			14 05									16 05					
Hof Hbf	850		14 22									16 22					
Kirchenlallach	867		13 33			14 34	14 41							15 33			
Kirchenlallach		13 15		13 34		14 35	14 41				15 15			15 34		15 41	
Haldernab-Göppmannsbühl				13 41												15 44	
Haldernab-Göppmannsbühl				× 13 44												× 15 44	
Immenreuth				13 48												15 48	
Neusong				13 56												15 55	
Waldenshof				× 14 02												× 16 01	
Marktredwitz	544, 855		13 53	14 05		14 52	15 05							15 53		16 04	
Marktredwitz			13 59							15 08				15 59			
Arzberg (Oberfr)										15 16							
Schönring				14 10						15 20				16 10			
Pomezni nad Ohri										× 15 24							
Cheb-Skalika										× 15 29							
Cheb			14 22							15 33				16 22			
nach		Weiden		Bad Steben	Lichtenfels		Bad Steben	Hof Tschelch		Weiden		Bad Steben	Lichtenfels				
Marktredwitz				14 06			14 53	15 06								16 05	
Hof Hbf				14 38			15 15	15 38								16 37	

■ nicht an allg. Feiertagen; nicht 24., 31. Dez
 ■ auch 24. Dez bis 7. Jan., 28. Feb. bis 4. Mär., 11. bis 22. Apr., 26. Mai, 6. bis 17. Jun.
 1. Aug. bis 12. Sep., 3., 31. Okt. bis 4. Nov., 16. Nov.
 ■ nicht 24. Dez bis 7. Jan., 28. Feb. bis 4. Mär., 11. bis 22. Apr., 26. Mai, 6. bis 17. Jun.
 1. Aug. bis 12. Sep., 3., 31. Okt. bis 4. Nov., 16. Nov.
 ■ Ss, Ss, auch an allg. Feiertagen; auch 24., 31. Dez
 ■ Gesamtverkehr siehe 891
 ■ Gesamtverkehr siehe 850

Züge verkehren auf dem markierten Streckenabschnitt vereinigt

Zdroj: DB Netz AG + vlastní úprava

Obr. 1 Spojování vlaků v norimberské aglomeraci – relace Nürnberg – Pegnitz – Marktredwitz/Hof/Bayreuth

Dalším prvkem je systematické odstraňování úzkých hrdel či kapacitně problematických míst na infrastruktuře. Zde je možné ukázat toto na příkladu přetížené trati Wunstorf – Minden (trať č. 1700). Tento traťový úsek byl prohlášen za přetížený dne 10. 12. 2012, kapacitní analýza byla dokončena 14. 6. 2013 a zveřejněna v prosinci 2013. Jedná se o dvoukolejnou elektrizovanou železniční trať s traťovou rychlostí až 200 km/h, která je součástí důležitého nákladního koridoru (West-Ost-Güterverkehrsmagistrale). Trať spojuje Hannover se západem Německa. Předjíždění je umožněno v dopravních Haste, Rehren, Lindhorst, Stadthagen, Kirchhorsten, Bückeburg a Minden Gbf, přičemž dle kapacitní analýzy je navržena série opatření ve třech horizontech:

- provozní (návrh alternativní trasy nákladních vlaků);

- střednědobá (vlození výhybek ve vybraných stanicích, navýšení počtu využívání předjízdných kolejí či zásahy do zabezpečovacího zařízení);
- dlouhodobá (zejména nákladnější modernizační práce).

3. Závěr

V rámci příspěvku jsou detailně rozebrány podklady různé povahy týkající se přidělování kapacity železniční dopravní cesty a problematiky přetížené infrastruktury, a to materiály legislativní povahy (zákony, vyhlášky, předpisy, směrnice apod.) nejen tuzemské, ale i zahraniční. Celkově se tak nejedná o zkušenosti a výzkum pouze český, ale jsou zmíněny i případy zejména z Německa, Rakouska a Švýcarska. Teoretické případy jsou doplněny konkrétními praktickými ukázkami vybraného fungování principů ve vyjmenovaných oblastech.

Z příspěvku plyne, že přístupy v jednotlivých zemích spojují určité podobnosti, ale rozdělují i specifické odlišnosti. Teoreticky je problematika řešena všude, nicméně z hlediska praktického jsou významněji vidět opatření spíše v Německu, Rakousku a Švýcarsku. V případě těchto zemí je především zásadní odlišnost, kdy provozovatel dráhy má povinnost zpracovat kapacitní analýzu ve stanoveném termínu. Příspěvek přitom zmiňuje i konkrétní výsledky této kapacitní analýzy. Z rešerše dostupných zdrojů je tak patrné, že v německy mluvících zemích je této problematice věnována mírně větší zřetel než v tuzemsku.

Literatura

- [1] PURKART, Pavel. *Optimální kooperace jednotlivých segmentů osobní kolejové dopravy*. Praha, 2022. Disertace. ČVUT v Praze Fakulta dopravní. Vedoucí práce Lukáš Týfa. *Ve fázi před obhajobou*.
- [2] Zmíněná legislativa a předpisy v příspěvku (jsou též součástí práce uvedené v bodě [1])

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za podpory projektu SGS20/138/OHK2/2T/16 Stanovení a optimální využití parametrů železniční dopravní cesty.

Vliv konstrukce čela tramvaje na následky nehod s osobními automobily

Ing. Jakub Seidl¹

Fakulta strojní ČVUT v Praze

Technická 4, 160 00, Praha 6 - Dejvice

e-mail_1: jakub.seidl@fs.cvut.cz

Abstrakt

Tento článek popisuje dílčí části výzkumu návrhu úpravy čel tramvají pro snížení následků nehod na osobních automobilech, který je prováděn na Fakultě strojní ČVUT v Praze. První část článku je věnována tvorbě různých variant simulačních modelů nehod tramvaje ŠKODA 39T Ostrava s auty. Druhá část článku se zabývá vyhodnocením simulací a porovnání výhod a nevýhod jednotlivých vytvořených modelů.

Klíčová slova

Tramvaj, osobní automobil, bezpečnost vozidel, nehoda, LS-Dyna.

The influence of the construction of tram fronts on the consequences of accidents with passenger cars

Abstract

This article describes partial parts of the research on the design of tram fronts to reduce the consequences of accidents on cars, which is carried out at the Faculty of Mechanical engineering of CTU. The first part of the article is devoted to the creation of different variants of simulation models of accidents of the ŠKODA 39T Ostrava tram with cars. The second part of the article deals with the evaluation of simulations and the comparison of the advantages and disadvantages of the individual created models.

Keywords

Tram, car, passive safety, accident, LS-Dyna.

1. Úvod

Dopravní nehody jsou nejčastěji způsobeny chybou člověka. V silniční dopravě je často za tyto chyby placeno cenou nejvyšší, a to zdravím nebo životem účastníků nehod. Návrh vozidel musí být tedy prováděn s vědomím, že lidé dělají chyby a i přes zavedení dokonalejších prvků aktivní bezpečnosti nelze s absolutní jistotou zabránit vzniku nehod. Proto je nutné nově konstruovaná vozidla vybavovat dokonalejšími prvky pasivní bezpečnosti, které povedou k mírnění následků nehod na všech vozidlech účastnících se nehody. Tato představa přístupu ke zvýšení bezpečnosti silničního provozu a ke snížení následků nehod na zdraví cestujících vychází z programu Vize 0, který byl představen v roce 1995 ve Švédsku. Základním cílem programu Vize 0 je vytvořit taková opatření dopravního systému a na vozidlech, aby do roku 2050 nedocházelo k úmrtím a aby byla minimalizována těžká zranění vzniklá z důvodu následků dopravních nehod [1], [2].

Podle provedené statistiky nehodovosti tramvajů na území České republiky za roky 2016 až 2018 bylo celkem zaznamenáno 5 046 nehod tramvajů s auty, to je více než 4 nehody denně. Následkem nehod došlo ke 299 lehkým a 12 těžkým zraněním řidičů aut. Ke zranění řidiče auta došlo při každé sedmé čelní a sedmnácté čelněboční nehodě. Příčinou těchto nehod je nejčastěji chyba řidiče auta, kdy při vjezdu na tramvajový pás nedá přednost jedoucí tramvaji a dojde k nárazu tramvaje do boku auta. Následky čelního nárazu tramvaje do boku auta jsou znázorněny na obrázku 1 [2], [3].



Obr. 1 Následky čelní nehody tramvaje do boku auta [4].

Pro zvýšení pasivní bezpečnosti nově konstruovaných kolejových vozidel byla v roce 2008 vydána norma EN 15227. Hlavním cílem normy EN 15227 je snížení následků nehod na cestující a posádky uvnitř kolejových vozidel. V průběhu zkoumaného období 2016 až 2018 byly na území České republiky provozovány většinou tramvaje starší doby výroby, které nebyly podle požadavků této normy konstruovány. Například lze uvést tramvaje typu T3, ŠKODA 14T a 15T. V posledních letech dochází u dopravních podniků v ČR k obnově vozidlového parku. Například lze uvést nové tramvaje od firmy Stadler a ŠKODA, které jsou v provozu v Ostravě a Plzni. Tyto nové tramvaje

jsou již konstruovány podle požadavků normy EN 15227 na odolnost při nehodě. Za zkoumané období 2016 až 2018 se pouze čtyř nehod účastnily tramvaje konstruované podle požadavků normy EN 15227. Vliv konstrukce čela tramvaje podle normy EN 15227 na následky nehod s auty proto nebylo možné posoudit pomocí vyhodnocení statistiky nehodovosti. [2], [5]

Pro možnost posouzení vlivu konstrukce EN 15227 na následky nehod byly vytvořeny zjednodušené simulační modely nehod tří tramvajů s auty. Jmenovitě se jednalo o tramvaje ŠKODA 15T Praha, ŠKODA 39T Ostrava a Stadler Tango NF2. Tramvaje byly v modelech reprezentovány pouze jejich kabinami, kterým byly přiřazeny hmotové parametry celých tramvajů. Toto zjednodušení bylo zvoleno z předpokladu dosažení nejhorsích výsledků daných simulací, tedy tzv. konzervativní přístup. Z provedených simulací vyplynulo, že největší riziko vzniku zranění řidičů v autech hrozí při nehodě s tramvajemi typu ŠKODA 39T Ostrava, která byla konstruována podle požadavků normy EN 15227. Tento závěr potvrdil předpoklad výzkumu, že konstrukce čel tramvajů podle požadavků normy EN 15227 vede ke snížení následků nehod cestujících v tramvajích, ale může vést ke zhoršení následků nehod cestujících v kolizních vozidlech, a že pro splnění Vize 0 je nutné se dále výzkumu úpravy čel tramvajů věnovat. Z důvodu dosahování nejhorsích výsledků byla pro další části výzkumu zvolena tramvaj ŠKODA 39T Ostrava [2].

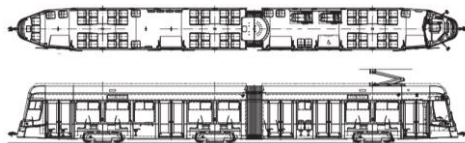
Tento článek popisuje dílčí části výzkumu návrhu úpravy čel tramvajů pro snížení následků nehod na osobních automobilech, který je prováděn na Fakultě stojní ČVUT v Praze. První část článku je věnována popisu tvorby zjednodušeného, složitějšího a komplexního modelu tramvaje ŠKODA 39T Ostrava s autem. Druhá část je věnována porovnání výsledků jednotlivých simulačních modelů a definování závěrů pro další části výzkumu.

2. Tvorba modelů tramvaje ŠKODA 39T Ostrava

Tramvaj ŠKODA 39T Ostrava je nízkopodlažní dvoučláneková tramvaj se třemi podvozky od plzeňské firmy ŠKODA Transportation a.s, viz obrázek 2. Typový výkres tramvaje, který definuje rozměry a rozložení sedících cestujících je znázorněn na obrázku 3.



Obr. 2. Tramvaj ŠKODA 39T Ostrava [6].



Obr. 3. Typový výkres tramvaje ŠKODA 39T Ostrava [7].

Podle volně dostupných informací je hmotnost prázdné tramvaje 36 835 kg a umožňuje přepravu 60 sedících cestujících. Při úvaze hmotnosti cestujícího 70 kg byla stanovena kolizní hmotnost tramvaje 38 935 kg [5], [6].

$$m_{kol} = m + m_{ces} * \left(\frac{p_{sed}}{2}\right)$$

Kde: m_{kol} – kolizní hmotnost tramvaje, m – hmotnost prázdné tramvaje, m_{ces} – hmotnost cestujícího, p_{sed} – počet sedících cestujících.

Simulační modely byly vytvořeny tak, aby co nejvěrněji reprezentovaly čelní náraz tramvaje do boku auta, tedy typ nehody s největším rizikem zranění řidiče auta podle výsledků statistiky nehodovosti. Simulační modely byly složeny ze submodelů: tramvaje, auta a řidiče. Parametry submodelů auta a řidiče jsou detailně popsány v publikaci [2], a proto nejsou v tomto příspěvku více popisovány.

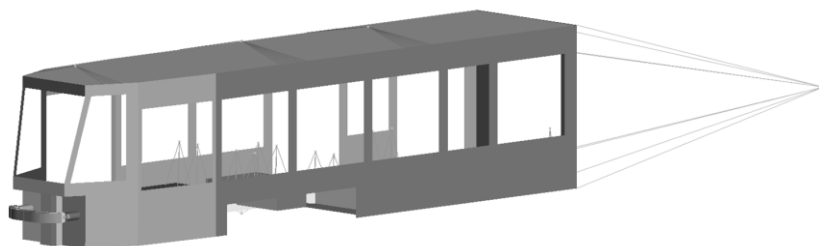
Simulační modely tramvajů byly vytvořeny tak, aby co nejvěrněji reprezentovaly geometrii hrubé stavby tramvaje ŠKODA 39T Ostrava. Veškeré části modelů byly vytvořeny podle volně dostupných zdrojů na internetu. Při řešení výzkumu byl zaveden předpoklad, že z důvodu vysoké pevnosti hrubých staveb článků tramvajů nedojde při nehodě s auty k jejich plastické deformaci, a proto byly při výpočtu uvažovány hrubé stavby jako dokonale tuhé. Tento předpoklad měl za následek menší chybu, než kdyby byly hrubé stavby uvažovány jako poddajné a při nehodě došlo k jejich nerealistické deformaci [2].

V rámci výzkumu byly celkem vytvořeny tři verze modelů tramvaje, které se lišily v detailnosti reprezentace reálné tramvaje. Vytvoření různých verzí modelů mělo stanovit vliv přesnosti a detailnosti reprezentace reálné tramvaje na výsledky simulací, a jaký typ modelu je vhodné použít pro další fáze výzkumu a fáze návrhu čel tramvajů. Byly uvažovány tyto tři typy modelů: zjednodušený, složitější a komplexní:

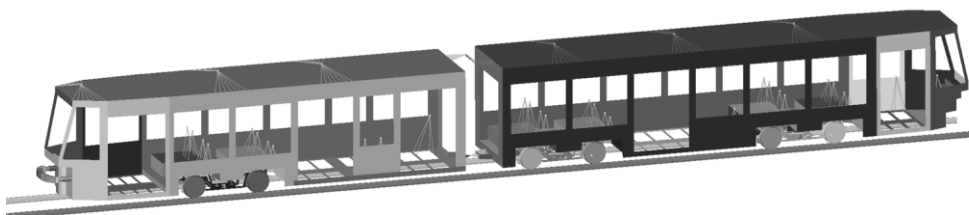
- **zjednodušený model:** geometrií model reprezentoval pouze kabinu tramvaje, které byly definovány hmotové parametry celé tramvaje. Zjednodušený model je znázorněn na obrázku 4;
- **složitější model:** geometrií model reprezentoval přední článek tramvaje s cestujícími a elektrickou výzbrojí na střeše článku. Zadní článek a podvozky byly v modelu reprezentovány hmotnými body, které byly uchyceny k HS předního článku. Složitější model je znázorněn na obrázku 5;
- **komplexní model:** geometrií model detailně reprezentoval reálnou tramvaj, tedy oba dva články, mezičlánkové spojení a tři podvozky. Elektrická výzbroj na střeše a cestující byly v modelu uvažovány jako hmotné body uchycené k HS jednotlivých článků. Komplexní model je znázorněn na obrázku 6.



Obr. 4 Zjednodušený simulační model tramvaje ŠKODA 39T Ostrava [2].



Obr. 5 Složitější simulační model tramvaje ŠKODA 39T Ostrava.



Obr. 6 Komplexní simulační model tramvaje ŠKODA 39T Ostrava.

V následujících podkapitolách je detailně popsána hmotnostní analýza tramvaje a tvorba složitějšího a komplexního simulačního modelu tramvaje. Tvorba zjednodušeného simulačního modelu a modelu deformačního prvku je popsána v publikaci [2], a proto nejsou v tomto příspěvku více popisovány.

2.1. Hmotnostní analýza tramvaje

Hmotnostní analýza tramvaje byla provedena podle zkušeností pracovníků ústavu Ú12120 na fakultě strojní ČVUT v Praze a znalosti hmotnosti prázdné tramvaje 36 835 kg [6]. Uvedená analýza tak popisuje dobrý odhad rozložení hmotnosti tramvaje ŠKODA 39T Ostrava.

Celková hmotnost tramvaje byla rozdělena do těchto skupin: přední a zadní článek, cestující v předním a zadním článku, elektrická výzbroj na střeše předního a zadního článku a podvozek 1, 2 a 3. Podvozek 1 byl uvažován jako netrakový a podvozky 2 a 3 jako trakční.

Tramvaj ŠKODA 39T Ostrava může přepravit celkem 60 sedících cestujících. Podle požadavků normy EN 15227 se má při výpočtu kolizní hmotnosti uvažovat polovina z nich, tedy 30. V předním článku bylo uvažováno 11 cestujících a v zadním článku 19. Cestující byli uvažováni vždy na sedadlech umístěných proti směru jízdy.

Elektrická výzbroj na střeše předního článku reprezentovala sběrač elektrického proudu a klimatizaci cestujících a řidiče a na zadním článku reprezentovala dva trakční měniče a klimatizaci cestujících.

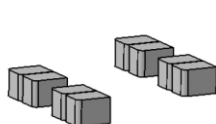
Hmotnostní analýza tramvaje je uvedena v tabulce 1.

Tab. 1 Hmotnostní analýza tramvaje ŠKODA 39T Ostrava.

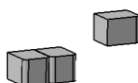
Popis	Hmotnost [kg]	Popis	Hmotnost [kg]
Přední článek	10 177	Elektrická výzbroj (zadní čl.)	1 570
Zadní článek	12 373	Podvozek 1	2 900
Cestující (přední čl.)	770	Podvozek 2	4 400
Cestující (zadní čl.)	1 330	Podvozek 3	4 400
Elektrická výzbroj (přední čl.)	1 015	Celkem	38 935

2.2. Tvorba složitějšího simulačního modelu tramvaje

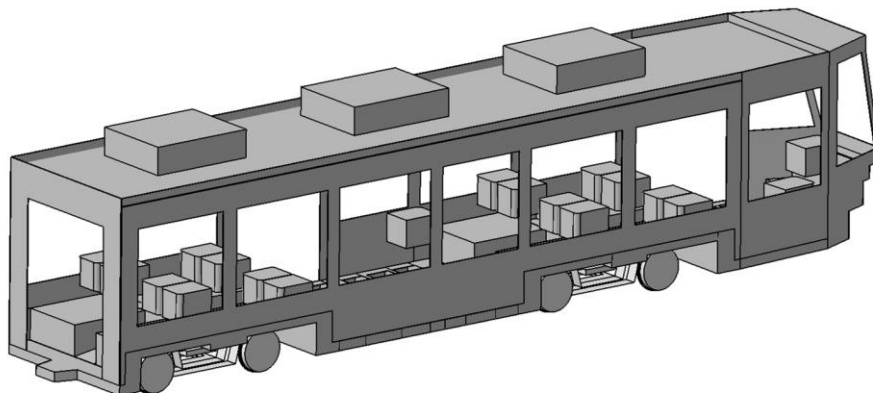
Složitější simulační model byl vytvořen tak, aby geometrií reprezentoval přední článek tramvaje. Všechny zbylé části tramvaje (zadní článek s oběma podvozky, přední podvozek, cestující a elektrická výzbroj na střeše) byly v modelu nahrazeny hmotnými body umístěnými v těžišti jednotlivých částí, kterým byla definována hmotnost a momenty setrvačnosti. Hmotové parametry jednotlivých částí byly stanoveny pomocí 3D CAD modelů vytvořených v softwaru CATIA V5. Na obrázku 7 je znázorněn model cestujících v předním článku. Model byl vytvořen podle požadavků předpisu VDV152, který definuje pozici těžiště sedících cestujících 200 mm nad sedadlo [8]. Na obrázku 8 je znázorněn model elektrické výzbroje na předním článku a na obrázku 9 je znázorněn model reprezentující zadní článek s podvozky, elektrickou výzbrojí a cestujícími. Složitější simulační model je znázorněn na obrázku 5.



Obr. 7 3D model cestujících v předním článku.



Obr. 8 3D model elektrické výzbroje předního článku.

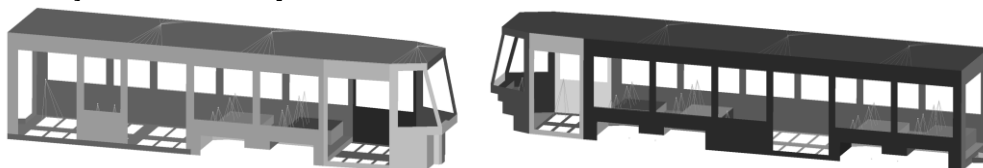


Obr. 9 3D model zadního článku.

2.3. Tvorba komplexního simulačního modelu tramvaje

Komplexní simulační model byl vytvořen tak, aby svou geometrií co nejpřesněji reprezentoval reálnou tramvaj. Komplexní simulační model byl složen ze submodelů: dvou článků, mezičlánkového spojení a tří podvozků.

Modely článků reprezentovaly svými parametry hrubou stavbu tramvaje, cestující a elektrickou výzbroj na střeše. 3D geometrie hrubých staveb článků byly odměřeny z volně dostupných podkladů na internetu. Cestující a elektrická výzbroj byly, stejně jako u složitějšího modelu, reprezentovány pomocí hmotných bodů umístěných v těžišti jednotlivých částí, kterým byla definována hmotnost a momenty setrvačnosti, viz obrázky 7 a 8. Modely jednotlivých článků jsou znázorněny na obrázku 10.

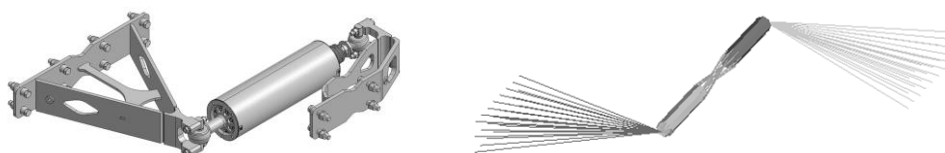


Obr.10 Model předního (vlevo) a zadního (vpravo) článku tramvaje.

Model mezičlánkového spojení byl složen z horní a dolní vazby mezi články. Volba typu vazeb mezičlánkového spojení definuje dovolené pohyby článků tramvaje vůči sobě. Kvůli koncepci tramvaje muselo spojení umožňovat rotaci článků vůči sobě kolem všech tří os. Spodní spojení bylo zvoleno typu sférické ložisko a horní spojení typu rozvolněná příčná tyč. Obě spojení umožňují rotaci článků vůči sobě kolem všech tří os. V modelu bylo sférické ložisko reprezentováno pomocí sférické vazby. Rozvolněná příčná tyč byla reprezentována pomocí posuvné vazby doplněné o pružinu s konstantní tuhostí 100 N/mm. [9] Modely a reálná mezičlánková spojení jsou znázorněny na obrázcích 11 a 12.

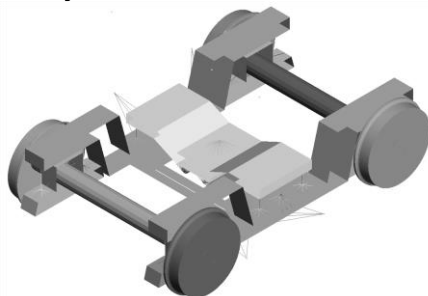


Obr. 11 Spodní mezičlánkové spojení: vlevo konstrukce [9], vpravo simulační model.



Obr. 12 Horní mezičlánkové spojení: vlevo konstrukce [9], vpravo simulační model.

Modely podvozků byly složeny ze submodelů kolébky, rámu, podélných táhel, ložiskových komor a náprav. Jednotlivé submodely byly mezi sebou propojeny vazbami reprezentujícími prvky vypružení (primární a sekundární), tlumičů a vazeb. Oběma dvěma stupňům vypružení byly definovány zatěžující charakteristiky pro všechny tři směry. Charakteristiky vypružení a tlumičů byly stanoveny podle zkušeností pracovníků ústavu Ú12120 na fakultě strojní ČVUT v Praze. Podvozek 1 byl uvažován jako netrakční a podvozky 2 a 3 byly uvažovány jako trakční, a proto byly modely doplněny o submodely pohonů (motorů a převodovek), které byly v modelech reprezentovány hmotnými body. Model trakčního podvozku je znázorněn na obrázku 13.



Obr. 13 Model trakčních podvozků 2 a 3.

3. Porovnání výsledků jednotlivých verzí simulačního modelu

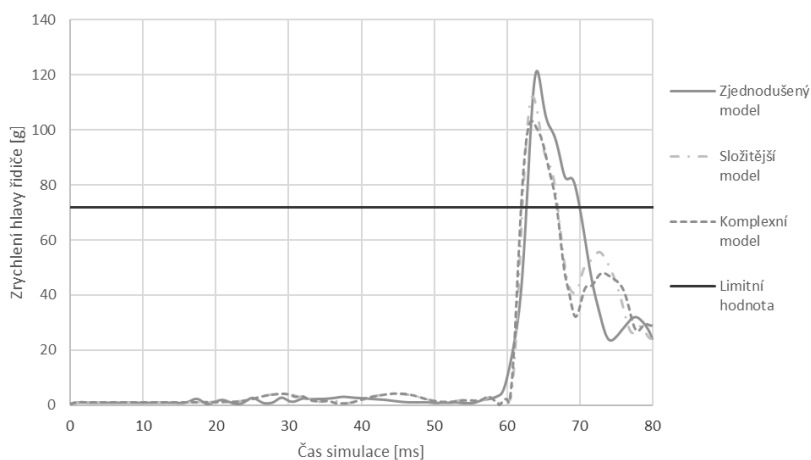
V této kapitole je uvedeno porovnání výsledků simulací nárazu tramvaje ŠKODA 39T s autem provedených na modelech popsanych v kapitole 2. Pro možnost porovnání následků jednotlivých nehod na řidiče aut byly ze simulací vyhodnocovány průběhy zrychlení hlavy řidiče. Z průběhu zrychlení bylo stanoveno biomechanické kritérium hlavy 3 ms. Podle požadavků organizace Euro NCAP nesmí být zrychlení hlavy řidiče po dobu 3 ms větší než 72 g, jinak hrozí těžké zranění nebo úmrtí řidiče auta [10].

Výsledky porovnání jsou uvedeny v tabulce 2 a na obrázku 14. Z výsledků simulace složitějšího modelu bylo stanoveno maximální zpomalení v článku A 0.29 g (maximální dovolená hodnota 5 g). Z výsledků komplexního modelu bylo stanoveno maximální zpomalení v obou člancích tramvaje 0.25 g a po celou dobu kontaktu vozidel nedošlo k vyšplhání okolku kol o více než 75% nominální výšky okolku.

Z uvedených výsledků je patrné, že při nehodě dochází k plnění požadavků normy EN 15227 na zajištění bezpečnosti cestujících uvnitř tramvaje a je možné se věnovat optimalizaci čel tramvajů pro snížení následků nehod na autech, jelikož při rychlosti nárazu tramvaje 25 km/h hrozí řidiči auta vznik těžkého zranění nebo v horším případě smrt.

Tab. 2 Porovnání výsledků kritéria 3 ms. Hodnota v tabulce značí maximální dosaženou hodnotu kritéria a dobu překročení limitní hodnoty.

Rychlost tramvaje	Zjednodušený model	Složitější model	Komplexní model
[km/h]	-/[ms]	-/[ms]	-/[ms]
25	121.4/7.3	112.3/5.9	103.2/5.8



Obr. 14 Průběh zrychlení hlavy řidiče auta.

4. Závěr

Podle předpokladu bylo dosaženo různých výsledků simulací jednotlivých verzí modelů. Větší úroveň zjednodušení modelu vedla k vyšším hodnotám zrychlení hlavy řidiče auta. Při výzkumu byly jednotlivé verze modelu detailněji zkoumány. Každá verze modelu měla své výhody a nevýhody, a tedy i smysl použití:

- **zjednodušený model:** výhodou byla jeho snadná tvorba, krátký výpočtový čas simulací (4h pro čas simulace 80 ms) a potřeba znát minimum informací o konstrukci tramvaje a její kolizní hmotnosti. Nevýhodou modelu však bylo dosahování konzervativních (nejhorších) výsledných hodnot, nepostihnutí pohybů tramvaje při nehodě (sednutí ve vypružení, kývání článku tramvaje, atd.) a nemožnost vyhodnocení požadavků normy EN 15227 na bezpečnost vozidel při nehodě (maximální hodnoty zrychlení a maximálního zdvihu kol). Model je vhodné použít na začátku řešení nového projektu pro stanovení maximálních dosahovaných hodnot, kdy není o konstrukci tramvaje známo mnoho informací, nebo pro porovnání dvou zcela odlišných koncepcí tramvaj;
- **složitější model:** oproti zjednodušenému modelu model lépe reprezentoval rozložení hmotových parametrů tramvaje předního článku a dosahoval přesnějších výsledků simulací, avšak za cenu delšího výpočtového času simulací (7h pro čas simulace 80 ms), náročnosti tvorby modelu a znalosti detailnějších informací o konstrukci tramvaje a rozložení hmotnosti. Model také nepostihnul pohyby tramvaje při nehodě. Model umožňoval vyhodnotit požadavky na zrychlení v prostoru cestujících v předním článku, ale neumožnil vyhodnotit zdvih kol při nehodě. Tato verze modelu kombinuje nevýhody obou zbylých verzí modelu a jeho benefit je zanedbatelné zpřesnění výsledných hodnot simulací. Proto byla tato verze modelu stanovena jako nevhodná pro použití pro optimalizační výpočty konstrukce čel;
- **komplexní model:** přesně reprezentoval rozložení hmotových parametrů tramvaje, umožnil veškeré pohyby článků při nehodě a umožnil vyhodnocení požadavků na zrychlení a zdvih kol při nehodě uvedených v normě EN 15227. Nevýhodou modelu však byla velká časová náročnost jeho tvorby, nejdelší výpočtové časy simulací (12h pro čas simulace 80 ms) a nutnost detailní znalosti konstrukce tramvaje, rozložení hmotností a parametrů podvozků pro jeho tvorbu. Z důvodu vysoké přesnosti reprezentace reálné tramvaje modelem lze předpokládat vysokou přesnost jeho výsledků. Model je vhodné použít ve střední fázi projektu, kdy je o finální tramvaji známo více informací, a provádět na něm detailní optimalizační výpočty konstrukce čel dané tramvaje.

Z výše uvedených informací o jednotlivých verzích modelů byl pro další fáze výzkumu zvolen komplexní model, a to pro jeho přesnou reprezentaci chování reálné tramvaje při nehodě a dosahování vysoké přesnosti výsledků. V rámci dalšího výzkumu bude provedena analýza deformačních prvků tramvají, s ohledem na to, jak jejich parametry ovlivňují následky nehod.

Zkušenosti získané při řešení tohoto výzkumu budou následně využity při řešení výzkumu snižování následků nehod regionálních drážních vozidel s auty na přejezdech, který je řešen v rámci projektu TN01000026 na stejném pracovišti.

Literatura

- [1] Hans von Holst; Ake Nygren; Roland Thord. *Transportation, Traffic Safety and Health*; SpringerVerlag GmbH, Berlin, Germany, 1997.
- [2] Jakub Seidl. *The influence of the construction of tram fronts on the consequences of accidents with passenger cars*; příspěvek na konferenci moderní železnice pro 21. století, Fakulta dopravní ČVUT v Praze, 2022.
- [3] Josef Kolář; Jakub Seidl; Vojtěch Zelený; Otomar Vincik. *Statistika nehodovosti tramvají a vozidel regionální železnice*. Výzkumná práce, fakulta strojní ČVUT v Praze, Praha, 2020.
- [4] iDnes.cz. Dostupné online: idnes.cz/praha/zpravy/nehoda-tramvaj-na-petrinach.A170623_151401_praha-zpravy_rsr (přístup dne 26. září 2021).
- [5] Technická norma: EN 15227:2020: *Railway applications – Crashworthiness of railway vehicle bodies*.
- [6] Mhd-ostrava.cz. Dostupné online: mhd-ostrava.cz (přístup dne 13. října 2021).
- [7] Skodagroup.com. Dostupné online: <https://www.skodagroup.com/cs/reference/tramvaj-forcity-smart-ostava> (přístup dne 5. srpna 2022).
- [8] Technická norma: VDV152: *Doporučení pro dimenzování odolnosti osobních vozidel podle BOStrab, říjen 2016*. VDV 152.
- [9] Václav Kraus; Jakub Seidl. *Optimalizace dynamického chování tramvaje*. ISBN 978-80-7560-377-7, str. 147-154, dopravní fakulta Jana Pernera, univerzita Pardubice, Česká Třebová, 2021.
- [10] Euroncap.com. Dostupné online: <https://cdn.euroncap.com> (přístup dne 10. listopadu 2021).

Poděkování

Výzkum byl realizován s podporou studentské grantové soutěže projektu SGS22/052/OHK2/1T/12.

Koncepce aktivního natáčení dvojkolí autonomní tramvaje

Ing. Jan Vrba¹

*Fakulta strojní ČVUT v Praze
Technická 4, 166 07 Praha 6 - Dejvice
e-mail_1: vrba@fs.cvut.cz*

Abstrakt

Tratě pro městská kolejová vozidla, obzvláště tramvaje, obvykle vedou centry měst, kde jsou často z historických důvodů použity směrové oblouky s velmi malými poloměry (méně než 25 metrů). Oblouky s ještě menšími poloměry (okolo 15 metrů) lze často nalézt také v depech. Při průjezdu vozidla oblouky s takto malými poloměry dochází k vyčerpání příčných vůlí dvojkolí v kolejovém kanále a ke vzniku velkých skluzových sil v kontaktu kola a kolejnice. Tyto podélné a příčné síly vedou k nežádoucím jevům v podobě vysokého opotřebení kol a kolejnic a emisím hluku a vibrací. Článek se zabývá konceptem aplikace aktivně řízených prvků do pojezdu tramvaje za účelem aktivního vedení dvojkolí a ovlivnění tak chodových vlastností tramvaje, což povede ke zlepšení průjezdu vozidla oblouky malých poloměrů. Příspěvek představuje navrženou koncepci aktivního vedení dvojkolí a koncepci řízení aktivních prvků. Při návrhu konceptu aktivního natáčení dvojkolí jsou brány v potaz zásadní otázky ceny a bezpečnosti aplikace aktivních prvků vedoucích dvojkolí. Tyto otázky jsou v představeném návrhu řízení řešeny pomocí využití dat ze subsystémů autonomní tramvaje či tramvaje vybavené alespoň dílčími subsystémy autonomního řízení, jako je databáze trati a antikolizní systém. Článek dále popisuje princip vytvoření databáze trati, která bude sloužit pro řízení autonomní tramvaje a řízení aktivního natáčení dvojkolí vozidla, pomocí měřicího zařízení, jehož koncept je v příspěvku taktéž představen.

Klíčová slova

Aktivní prvek; aktuátor, kolejové vozidlo; autonomní řízení; tramvaj; pojezd.

The concept of active wheelset steering of an autonomous tram

Abstract

Routes for urban rolling stock, especially trams, usually run through city centres, where directional curves with very small radii (less than 25 metres) are often used for historical reasons. Curves with even smaller radii (around 15 meters) can often be found in depots. When a vehicle passes through such a sharp curve, the lateral clearance of the wheelsets in the track is exhausted and large slip forces are generated at the wheel-rail contact. These longitudinal and transverse forces lead to undesirable phenomena in the form of high wheel and rail wear and noise and vibration emissions. The paper deals with the concept of applying actively controlled elements to the tram running gear in order to actively guide the wheelsets and thus influence the tram running characteristics, which will lead to an improvement of the vehicle's passage through small radius curves. This paper presents the proposed concept of active wheelset guidance and the concept of active element control. In the design of the active wheelset steering concept, the fundamental issues of cost and safety of the application of active wheelset steering elements are taken into account. These issues are addressed in the presented control design by using data from the subsystems of an autonomous tram or a tram equipped with at least partial autonomous driving subsystems such as a track database and an anticollision system. The paper also describes the principle of creating an environmental database that will be used for the control of the autonomous tram and the control of the active steering of the vehicle's wheelsets, using a measuring device, the concept of which is also presented in the paper.

Keywords

Active element, actuator, railway vehicle, autonomous driving, tram, running gear.

1. Úvod

Tratě pro městská kolejová vozidla, obzvláště tramvaje, obvykle vedou centry měst, kde jsou často z historických důvodů použity směrové oblouky s velmi malými poloměry (méně než 25 metrů). Oblouky s ještě menšími poloměry (okolo 15 metrů) lze často nalézt v depech. Při průjezdu vozidla takto malým obloukem dochází k vyčerpání příčných vůlí dvojkolí v koleji a ke vzniku velkých skluzových sil v kontaktu kola a kolejnice. Tyto podélné a příčné síly vedou k nežádoucím jevům v podobě vysokého opotřebení kol a kolejnic a emisím hluku a vibrací. Opotřebení kol a kolejnic má za následek velké náklady jak pro správce infrastruktury, tak provozovatele vozidel, který musí zajistit soustružení opotřebovaného profilu kol a následně i výměnu obručí kol. Reprofilace kol, kterou je nutné pravidelně provádět kvůli opotřebení jejich jízdního profilu, a následná výměna obručí kol jsou největším nákladem při údržbě tramvajových vozidel a zásadně se tak podílí na servisní složce LCC (life cycle cost).

Zlepšení průjezdu tramvaje směrovými oblouky malých poloměrů je věnována po dlouhá desetiletí velká pozornost výzkumníků i projektantů vozidel po celém světě. Zlepšení průjezdu oblouky malých poloměrů u tramvajových vozidel může být dosaženo čistě mechanickými řešeními v podobě optimalizace pojezdu kolejového vozidla, například podélné tuhosti a provedení primárního vypružení, použitím otočných podvozků, mazáním okolků, provedením mezičlánkového spojení či samotnou koncepcí článkového vozidla. Dalším možným čistě mechanickým řešením zlepšení průjezdu obloukem je využití volně otočných kol, kdy je oproti klasickým dvojkolím rozvázána torzní vazba mezi jednotlivými koly dvojkolí a kola se tak mohou otáčet různou úhlovou rychlostí a minimalizují se tak podélné skluzové síly.

Vzhledem k dlouhému vývoji v mechanických částech pojezdů kolejových vozidel však již nelze očekávat velký posun ve zlepšení průjezdu oblouky malých poloměrů. Z tohoto důvodu se v posledních desetiletích věnuje velké množství zájmu a výzkumných kapacit k využití aktivně řízených prvků v pojezdech kolejových vozidel, pomocí kterých dochází k aktivnímu ovlivnění interakce vozidla s tratí. První aktivní prvky v pojezdu lokomotiv byly použity již v 50. letech 20. století za účelem dosažení mechanického optima. Prudce se rozvíjející oblasti elektrotechniky, sensoriky či kontrolérů v posledních desetiletích však umožňují využití aktivních prvků v daleko širším rozsahu a podporují tak snahu o vývoj rychlejších, komfortnějších, úspornějších a v neposlední řadě bezpečnějších kolejových vozidel. Podrobněji o možnostech využití aktivních prvků v pojezdu kolejového vozidla pojednává autor v [2].

Za největší problémy aplikace aktivních prvků do pojezdu kolejového vozidla za účelem aktivního vedení dvojkolí a jeho natáčení do oblouku lze označit bezpečnost a cenu jejich aplikace. Dále pak nezezení vhodného algoritmu a vstupních veličin řízení. Tyto problémy se snaží řešit dále představený návrh koncepce aktivního vedení dvojkolí tramvaje, který využívá dat ze senzorů umístěných na vozidlo pro účely subsystémů autonomního řízení, které jsou

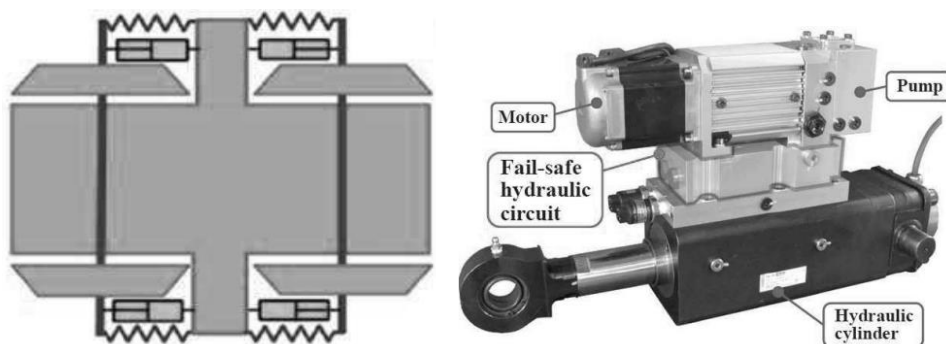
v současné době zkušebně nasazovány do provozu či intenzivně vyvíjeny. Jedná se zejména o antikolizní systém vozidla, který na základě dat ze senzorů (LiDAR, kamera) na čele vozidla, kontroluje průjezdný průřez před vozidlem a v případě vyhodnocení možné kolize s překážkou v dráze tramvaje upozorní řidiče či případně rovnou zasáhne do řízení vozidla. Druhým systémem je databáze trati, která je nahrána ve vozidle a obsahuje důležité informace pro řízení vozidla, jako je profil trati, poloměr projížděného oblouku atp. Systém řídící vozidlo je tak schopen z této databáze vyčíst na základě znalosti polohy vozidla informace potřebné pro jeho řízení.

2. Koncepce aktivního vedení dvojkolí tramvaje

Návrh počítá s aktivním natáčením jednotlivých dvojkolí tramvaje do oblouku pomocí aktivně řízených prvků – aktuátorů. Natočením dvojkolí do oblouku dojde ke snížení úhlu náběhu na hodnotu blízkou nule a dvojkolí tak vejde do oblouku v radiální poloze.

Pro návrh řízení aktivního prvku a jeho aplikaci je uvažováno s aktivním prvkem na každé straně dvojkolí umístěným v podvozku v rámci primárního vypružení s funkcí natáčení dvojkolí do oblouku a přenosu hnacích a brzdných sil z dvojkolí na rám podvozku. Paralelně s aktivním prvkem je uvažováno pasivní primární vypružení (viz obrázek 1 vlevo). Toto řešení sice zvyšuje požadavek na sílu vyvozovanou aktuátorem, jelikož aktuátor musí přemáhat podélnou tuhost pasivního vypružení, a tím se zvyšuje jeho hmotnost i rozměry, což stěžuje zástavbu aktivního prvku do podvozku, ale hlavní výhodou je zajištění bezpečné jízdy vozidla při výpadku či záměrném vyřazení aktivního prvku z provozu. V případě poruchy aktivního prvku či jeho řízení, je tak uvažováno, že vozidlo bude schopno dojet sníženou rychlostí právě obsluhovanou linku a následně odjet k servisnímu úkonu do depa.

Typ aktuátoru byl zvolen jako elektro-hydraulický, který se jeví jako nejvhodnější kompromis mezi jednoduchostí řízení, zástavbovými rozměry, požadavky na údržbu a schopností zajistit bezpečný provoz i při poruše aktuátoru či jeho řízení. Aktuátory fungují dle konceptu „Power by wire“, kdy má každý aktuátor vlastní servomotor řídící pumpu, která produkuje tlak a průtok kapaliny dle aktuální potřeby. Toto řešení přináší snížení hmotnosti oproti čistě hydraulickým aktuátorům, jelikož odpadá nutnost použití rozvodů, reservoáru oleje či ventilů. [1] Aktuátor je dále vybaven bezpečnostním okruhem (viz obrázek 1 vpravo), který umožňuje vyřazení aktuátoru v případě jeho poruchy či poruchy řízení.



Obr. 1 Umístění aktivních prvků v podvozku (vlevo) [1], elektro-hydraulický aktuátor s bezpečnostním okruhem (vpravo) [4]

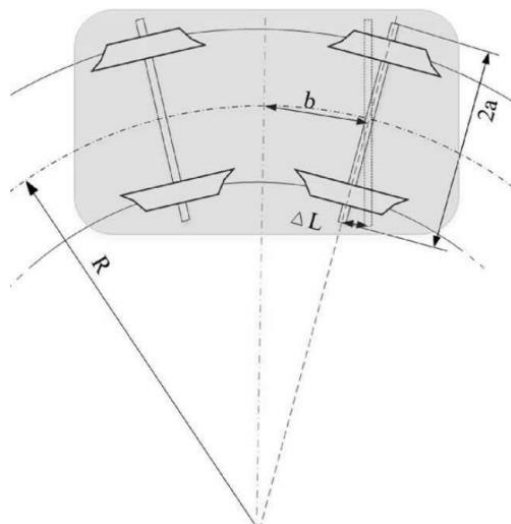
2.1. Řízení aktivního prvku

Z hlediska ceny aplikace aktivního prvku může velkou část nákladů znamenat sensorika, kterou je potřeba osadit vozidlo pro získávání vstupních veličin potřebných pro algoritmus řízení aktivního prvku. Stejně tak otázka bezpečnosti je z velké míry spjatá se správným snímáním vstupních veličin. Velká část publikovaných algoritmů řízení aktivních prvků je založena na měření příčné výchylky dvojkolí v koleji. Tento způsob řízení však lze jen těžko aplikovat do praxe, vzhledem k téměř nemožnosti spolehlivě měřit tuto veličinu v náročném prostředí městského tramvajového provozu. Z tohoto důvodu je návrh řízení aktivního prvku proveden pouze se vstupními veličinami, které lze získat z databáze trati. Využit je hlavně údaj o aktuálním poloměru projížděného oblouku R . Do řízení aktivního prvku bude dále vstupovat i rychlost vozidla, která je běžně snímána v dostatečné přesnosti již u současných vozidel a netřeba tak instalovat další dodatečné senzory.

Návrh počítá dále s tím, že by jako vstupy do algoritmu řízení aktivního prvku mohly vstupovat i další parametry trati, získávané z databáze trati. Zejména je to pak vůle dvojkolí v koleji σ , rozchod koleje g (v obloucích malých poloměrů se tyto parametry často rozšiřují), stavební převýšení či kvalita trati (vliv svislých a příčných nerovností). Na základě těchto informací bude probíhat řízení natáčení dvojkolí a bude regulována rychlost jízdy vozidla. Výchozím vztahem pro řízení aktuátoru je jeho optimální vysunutí pro nastavení dvojkolí do radiální polohy:

$$\Delta L = \frac{a \cdot b}{R} + f(g, \sigma) \quad (1)$$

kde $2b$ je rozvor podvozku a $2a$ představuje příčnou vzdálenost aktuátorů natáčejících dvojkolí, viz obrázek 2. [1]



Obr. 2 Průjezd podvozku obloukem [1]

Na základě optimálního vysunutí aktuátoru lze vyjádřit potřebnou sílu aktuátoru jako:

$$F = \left(k_x \cdot \Delta L + \frac{F_{t,dv}}{2} \right) \cdot K \quad (2)$$

Aktuátor je potřeba dimenzovat na základě požadavku na výsun aktuátoru ΔL , podélné tuhosti primárního vypružení k_x a poté na přenos maximální trakční síly vozidla na každé hnané dvojkolí $F_{t,dv}$, která bude přenášena z dvojkolí na rám podvozku právě přes aktuátory. Koeficient K může být chápán jako bezpečnostní koeficient, jehož hodnota bude dále předmětem výzkumu, tak aby bylo zaručeno bezpečné natočení dvojkolí v jakékoliv provozní situaci (prázdné/plně naložené vozidlo, vysoký/nízký součinitel adheze atp.), ale zároveň nedošlo k přílišnému předdimenzování aktuátoru. Předdimenzování aktuátoru vede ke zvýšení jeho rozměrů a hmotnosti, což ještě více zkomplikuje možnost zastavení aktuátoru do podvozku vozidla.

Vzhledem k umístění senzorky pro antikolizní systém i určení polohy na čelo vozidla bude třeba jednotlivá dvojkolí začít natáčet se zpožděním v závislosti na rychlosti vozidla a jeho rozměrech (délky představku vozidla, vzdálenost os podvozků a rozvoru podvozku, délky jednotlivých článků). Vliv bude mít také rychlost výsuvu a další parametry aktuátoru, které budou do algoritmu řízení zahrnuty v další fázi návrhu.

Řízení je v současné fázi návrhu zamýšleno jako dopředné, které se jeví jako vhodné řešení pro tuto úlohu. Jeho výhodou je možnost lépe se přizpůsobovat různým okrajovým podmínkám, které mohou během provozu nastat [5]. Detailní návrh řízení aktivního prvku bude rozpracován v další fázi výzkumu.

2.2. Bezpečnostní otázky aplikace aktivního prvku a jeho řízení

Pro hodnocení odolnosti proti poruše systému se lze inspirovat v leteckém průmyslu, který je v tomto odvětví výrazně dále. Lze využít porovnání z hlediska čísla priority rizika a na základě navržené metodiky [1] způsobu hodnocení schopnosti odolávat poruchám. Číslo priority rizika je určováno na základě dvou hlavních kritérií, závažnosti poruchy ve smyslu ekonomických ztrát či zranění osob a pravděpodobnosti, že dojde k selhání. Třetím doplňkovým kritériem může být schopnost detekovat poruchu pomocí monitorovacího systému.

Z hlediska bezpečnosti provozu vozidla se jeví jako problematické zejména tyto faktory a provozní situace:

- Správnost vstupní informace řízení (senzorika)
- Poruchový stav aktuátoru – zaseknutý aktuátor v krajní poloze
- Chyba řídicího algoritmu – maximální vysunutí jednoho aktuátoru nebo obou aktuátorů na jednom dvojkolí v opačném směru

Všechny tyto stavy je třeba uvažovat při návrhu aktivního prvku, jeho řízení i celého vozidla a následně systém vyhodnotit například pomocí výše zmíněné metodiky.

Stejně tak jako v letectví, i v případě návrhu řízení aktivního prvku v podvozku tramvaje by bylo vhodné klíčové veličiny vstupující do jeho řízení získávat ze dvou zdrojů. Správnost hlavní vstupní informace algoritmu řízení, tedy poloměru oblouku, bude tak ověřena pomocí porovnání hodnoty uložené v databázi trati vozidla na základě znalosti polohy vozidla s naměřenou a automaticky vyhodnocenou hodnotou pomocí sensoriky (LiDAR, kamera) umístěné na čele vozidla primárně za účelem detekce překážek. Systém je tak schopen automaticky rozpoznat z dat LiDARu kolejnicové pásy a vyhodnotit jejich křivost. Při odlišnosti těchto dvou porovnávaných hodnot bude aktivní prvek nastaven do nominální polohy a dvojkolí tak nebude natočeno. Vozidlo pak projede oblouk sníženou rychlostí. Vedení dvojkolí bude tedy zajišťovat stále aktivní prvek, který však dvojkolí nebude do oblouku natáčet. Tímto mechanismem by mělo být zamezeno vykolejení vozidla vlivem špatné vstupní veličiny řízení.

V případě detekce poruchy aktivního prvku či jeho řízení bude aktuátor vyřazen z provozu pomocí bezpečnostního okruhu. Vedení dvojkolí pak bude zajišťovat pasivní primární vypružení navržené s takovou podélnou tuhostí, která umožní bezpečný průjezd vozidla obloukem s nejmenším poloměrem nízkou rychlostí definovanou na základě výpočtu bezpečnosti proti vykolejení. Podélná tuhost pasivního primárního vypružení musí být navržena dostatečně velká, aby umožňovala vozidlu s vyřazeným aktivním prvkem dokončit službu na lince (buť se sníženou rychlostí a nabráním zpoždění) a odjezd do depa. Zároveň je však třeba brát v úvahu, že čím bude vyšší podélná tuhost primárního vypružení, tím větší sílu musí vyvozovat při běžném provozu aktuátor, aby tuto tuhost přemohl při natáčení dvojkolí do oblouku. Zvýšení potřebné síly aktuátoru vede k nárůstu hmotnosti i objemu aktuátoru a je tedy

nežádoucí. Podélná tuhost primárního vypružení tak musí být velmi pečlivě naladěna na kompromis obou popsaných protichůdných požadavků.

3. Vytvoření databáze trati pro řízení autonomní tramvaje

Pro funkčnost konceptu řízení aktivního prvku i celého autonomního vozidla je klíčové vytvoření spolehlivé databáze trati, která bude obsahovat jednak standartní informace o poloměru oblouku, přechodnicích a dalších infrastrukturních prvcích tramvajové trati, případně i HD mapu okolí trati pro možnost přesné lokalizace vozidla pomocí HD mappingu, i detailní informace o infrastruktuře a jejím stavu.

Takto vytvořená databáze trati by jednak umožnila autonomním tramvajovým vozidlům bezpečný pohyb po městě bez nutnosti vybavovat vozidla další drahou sensorikou, ale také by posloužila správci infrastruktury, který by získával informace o problematických místech, na kterých je třeba provést údržbu trati. Lze předpokládat, že inspekce stavu trati bude při nasazení autonomních vozidel potřeba provádět mnohem častěji, jelikož ve vozidlech nebude řidič, který by závady na trati nahlásil.

Pro získání podrobné databáze trati byl navrhnut systém měření pomocí měřicího zařízení, kterým by byla tramvajová trať systematicky projížděna (alespoň 4x ročně kvůli změně vegetace v okolí trati atp.) a pomocí kterého by byly měřeny detailní informace o infrastruktuře, které jsou potřeba pro řízení aktivních prvků v pojezdu vozidla, případně úpravu rychlosti vozidla či zjištění závad na trati. Dále by pomocí zařízení byla vytvářena 3D mapa okolí trati pro následnou lokalizaci vozidel.

Měřicí zařízení pro vytvoření takto komplexní databáze trati městské tramvajové trati nebylo na trhu nalezeno a byl tak proveden předběžný návrh vybavení a koncepce měření měřicího zařízení.

Zařízení se sestává následující sensoriky:

- 4x 3D kamera;
- 3x Full HD kamera;
- senzor natočení děleného; rámu;
- IMU;
- LiDAR;
- GNSS;
- senzor otáček kola.



Obr. 3 Ukázka podobného měřicího zařízení pro zmapování tramvajové trati a jejího okolí [3]

Takto vytvořená databáze trati bude obsahovat následující informace:

- Jízdní profil
- HD mapa okolí trati
- Poloha zařízení na trati
- Poloha osy koleje
- Horizontální profil trati
- Vertikální profil trati
- Rozchod koleje
- Profil kolejnic
- Úklon kolejnic
- Rozvinuté defekty kolejnic
- Vlnkovitost kolejnic
- Propad/zborcení koleje
- Defekty kolejového svršku
- Geometrická poloha troleje

Podstata měření spočívá ve změření vzdálenosti kolejnic a okolní infrastruktury tratě od měřicího zařízení a následného zpracování dat do výsledků, které poskytují přehled o geometrii tratě, průjezdném průřezu, mapě okolí a dalších výše zmíněných parametrech infrastruktury. Měření probíhá tak, že v dílčích řezech kolmých k ose koleje je měřena vzdálenost mezi infrastrukturou a senzory umístěnými na měřicím zařízení. Dále probíhá měření náklonů ve všech osách, měření zrychlení a měření globální polohy. Základním bodem každého měřeného řezu je osa koleje. Osa koleje je vypočtena z dat získaných 3D kamerami a dalšími následnými korekcemi. K ose koleje jsou následně vztaženy všechny další měřené body daného řezu.

V každém řezu probíhá měření vzdálenosti okolní infrastruktury pomocí LiDARu. Změřené vzdálenosti jsou svázány s osou koleje. V každém dílčím řezu jsou měřeny podélný a příčný sklon a natočení pomocí gyroskopů. Data z gyroskopů IMU jednotky jsou využita pro vytvoření horizontálního a vertikálního profilu tratě a případnou korekci změřené osy koleje (propady, vzestupnice atd.).

4. Závěr

V článku byl představen návrh umístění a řízení aktivního prvku v pojezdu tramvaje za účelem aktivního vedení a natáčení dvojkolí. Cílem této aplikace je snížení podélných a příčných skluzových sil v kontaktu kola a kolejnice při průjezdu oblouky malých poloměrů a tím snížení opotřebením kol a kolejnic a emisí hluku i vibrací. Návrh se snaží reflektovat problémy, které zatím brání širší aplikaci aktivních prvků do pojezdu kolejových vozidel a nastiňuje možná řešení, kterými se bude autor dále zabývat. Pro řízení aktivních prvků je navrženo využití subsystémů autonomního řízení vozidel, které již na vozidlech v současné době jsou instalovány, případně lze jejich instalaci na vozidla v nejbližší době očekávat. Těmito systémy jsou zejména antikolizní systém, detekce polohy vozidla pomocí HD map či využití databáze trati. Využitím těchto synergií dochází ke snížení nákladů na aplikaci aktivních prvků, jelikož není třeba drahých senzorů pro měření veličin vstupujících do řízení a dochází rovněž ke zvýšení bezpečnosti jejich použití, jelikož informace jsou ověřovány ze dvou různých zdrojů. Cílem je také dopředné řízení aktivního prvku dále doplnit o další parametry trati, které jsou uloženy v podrobné databázi trati a mají vliv na průjezd vozidla obloukem. V třetí kapitole je pak popsán návrh zařízení pro měření infrastruktury, pomocí kterého by zamýšlená databáze trati byla vytvářena.

V dalším výzkumu se chce autor zaměřit na vytvoření matematických modelů článkových tramvají různých koncepcí ve vhodném MBS softwaru. Dalším krokem bude vytvoření detailního algoritmu řízení aktivních prvků v programu Matlab Simulink a následné propojení obou modelů. Pomocí takzvané kosimulace lze dosáhnout propojení řízení aktivního prvku s modelem vozidla a pomocí simulace jízdy vozidla s řízeným aktivním prvkem prokázat výhody takového řešení, porovnat příčné síly a opotřebením při průjezdu obloukem vozidla s pasivním a aktivním vypružením, či nasimulovat poruchové stavy a vyhodnotit jejich kritičnost. Finálním krokem výzkumu by pak mělo být vyzkoušení vyvinutého systému vedení dvojkolí na experimentálním kladkovém stavu.

Literatura

- [1] BIN, F., BRUNI, S. (2020): Fault-tolerant design and evaluation for a railway bogie active steering system, In: Vehicle System Dynamics. 2020, DOI:10.1080/00423114.2020.1838563
- [2] VRBA, J. and J. KOLÁŘ. Možnosti aplikace aktivních prvků v kolejových vozidlech. In: SOUČASNÉ PROBLÉMY V KOLEJOVÝCH VOZIDLECH 2021: XXV. KONFERENCE S MEZINÁRODNÍ ÚČASTÍ, SBOR-NÍK PŘÍSPĚVKŮ. SOUČASNÉ PROBLÉMY V KOLEJOVÝCH VOZIDLECH 2021 - XXV. konference s mezi-národní účastí, Česká Třebová, 2021-09-15/2021-09-17. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2021. p. 121-130. ISBN 978-80-7560-377-7.
- [3] References. Deutzer.de [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <http://www.deutzer.de/en/referenzen-trenn-en/referenzen-galerie-en>
- [4] UMEHARA, Y., KAMOSHITA, S., ISHIQURI, K., YAMANAQA, Y. Development of electro-hydraulic actuator with fail-safe function for steering system. In: Q Rep RTRI 55(3).2014. s. 131–137
- [5] GIOSSI, R.L., PERSSON, R., STICHEL, S. Improved curving performance of an innovative two-axle vehicle: a reasonable feedforward active steering approach. In: Vehicle System Dynamics [online]. s. 1-24 [cit. 2021-6-4]. ISSN 0042-3114.

Poděkování

Výzkum byl podporován v rámci SGS21/112/OHK2/2T/12.

Název: **Sborník příspěvků konference Želva 2022**

Editor: Ing. Magdalena Křečková

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze

Zpracovala: Fakulta stavební
Katedra železničních staveb
Thákurova 7, Praha 6 – Dejvice, 166 29
(+420) 224 355 460

Tisk: Powerprint s.r.o.
Brandejsovo náměstí 1, Praha – Suchdol, 165 00

ISBN: **978-80-01-07046-8**

Vydání: první

Náklad: 25 výtisků

Počet stran: 101

Praha 2022

ISBN 978-80-01-07046-8