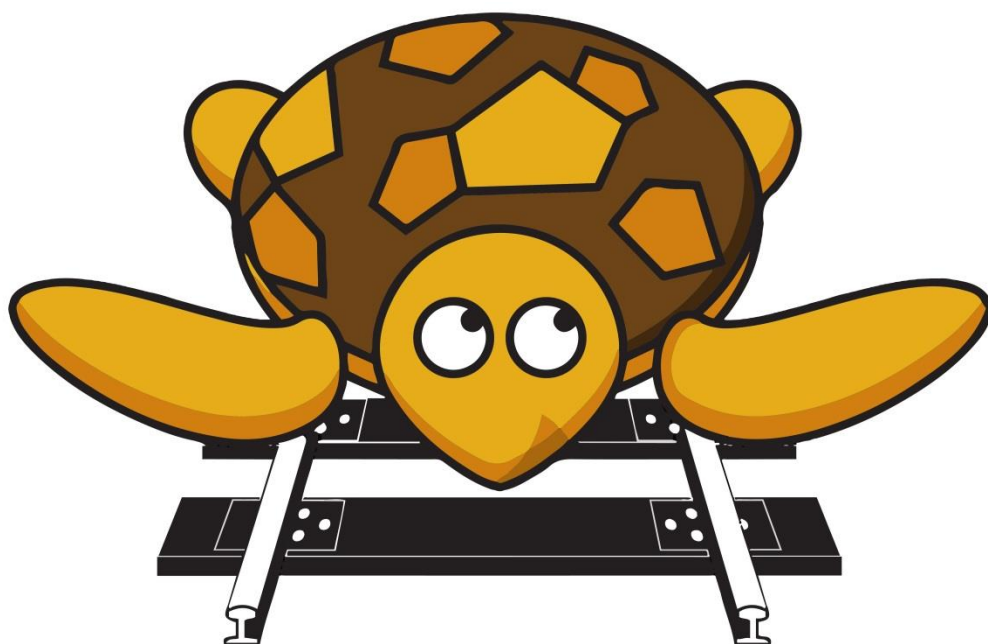


SBORNÍK STUDENTSKÉ VĚDECKÉ KONFERENCE ŽELEZNIČNÍ VÝZKUMNÉ AKTIVITY

6. ročník

10. ZÁŘÍ 2024

PRAHA



ŽELVA 2024



Sborník příspěvků ŽELVA 2024 - 2. vydání

Studentská vědecká konference
Železniční výzkumné aktivity

6. ročník
10. září 2024
Praha

GARANT KONFERENCE/SUPERVISOR
Ing. Leoš Horníček, Ph.D.

EDITOR SBORNÍKU/EDITOR
Ing. Magdalena Křečková
Bc. Ellen Michaeli

PŘÍPRAVNÝ VÝBOR KONFERENCE/ORGANIZING COMMITTEE
Ing. Ondřej Bret
Ing. Magdalena Křečková
Bc. Ellen Michaeli

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

Vážené kolegyně, vážení kolegové,

právě otevíráte elektronickou verzi sborníku šestého ročníku Studentské vědecké konference Železniční výzkumné aktivity – zkracované a tradičně přezdívané akronymem ŽELVA. Konference se, asi jako jako každá akce, která přesáhne počtem svých konání její založení a více než první opakování, vyvíjí, a tak se vyvíjí i Želva.

Letošním ročníkem bychom proto rádi zavedli tradici připomenutí významných osob nebo událostí spojených s dráhou. Letošní ohlédnutí, které se proplétá většinou odborných příspěvků i doprovodným programem, snad s ohledem na velké kulaté jubileum ani nemůže mířit jinam než do pražského metra. Pražské metro si totiž 9.5. připomnělo 50. výročí od zahájení provozu na své první lince – úseku linky C z Kačerova, přes pankráckou pláň, Nuselský most, Václavské náměstí a Hlavní nádraží do oblasti Florence. Právě na pražské metro jsou tak zaměřeny nejen příspěvky zde ve sborníku uvedené, ale i příspěvky prezentované formou přednášky bez zařazení do sborníku. Evakuační modely pro evakuaci tunelů a stanic touto formou přiblížila účastníkům Petra Okřinová z VUT v Brně, ohlédnutí za vývojem pražského metra a další souvislosti nám pak ukázali kolegové Lukáš Týfa a Martin Jacura z Fakulty dopravní ČVUT v Praze.

Poděkování ale samozřejmě patří všem, kteří si na konferenci a tvorbu příspěvku na ní našli čas, nejen výše jmenovaným :-)

Na tomto místě mi tedy, v duchu výše uvedeného, dovolu vzpomenout osobnost s pražským metrem a jeho začátky neoddělitelně spojenou – a sice na grafika, typografa a grafického designéra Jiřího Rathouského. V letošním roce totiž také spolu se zahájením provozu v pražském metru uplynulo 50. let od chvíle, kdy Pražané a návštěvníci Prahy se začali dennodenně setkávat s grafickým a informačním systémem, který právě Jiří Rathouský vytvořil, a které byl použitý v pražském metru.

Mimo to je letošní rok také 100. výročí jeho narození. Jiří Rathouský se narodil 20. dubna 1924, studoval výtvarnou výchovu na pedagogické fakultě Univerzity Karlovy a celoživotně se věnoval grafickému designu, typografii a grafice. Vytvořil grafickou podobu řady českých edic například pro nakladatelství Academia nebo Albatros. Pro nakladatelství Albatros, stejně jako například pro projekční firmu Metroprojekt Praha, vytvořil jimi dodnes využívaná nadčasová loga. Vytvořil i řadu

informačních systémů – například pro hotely Intercontinental a Parkhotel v Praze nebo hotelu Thermal v Karlových Varech, jeho tvorbu zahrnovala i série popkulturních plakátů, z nichž širší veřejnosti asi nejznámější je ten k filmovému muzikálu Starci na chmelu.

Pro pražské metro vytvářel a vytvořil ucelený grafický informační systém, který byl využíván mezi lety 1974 – 1985, založený na jednoduché grafice v rastru 9x9 polí, vycházejících i barevností z jasné logiky a struktury třídění a podávání informací směrem k cestujícím. Ačkoli jeho informační systém byl postupně od poloviny 80. let nahrazován, a dnes se s ním v provozu až na některé „zapomenuté“ prvky prakticky nesetkáme, jeho odkaz v metru nalezneme na velmi viditelném místě stále – a sice na stěnách stanic v podobě odlévaných liter s charakteristickým provedením názvu stanice. Ucelená řada písma METRON, která byla dříve využívána i pro všechny podávané informace na orientacích, a která vznikala spolu se sadou číslic Digita, je dodnes využívaným sjednocujícím charakteristickým prvkem, které tak zanechává jeho (snad) nesmazatelnou stopu.

Dovolte nám tak letošní ročník věnovat nejen pražskému metru, ale právě i Jiřímu Rathouskému, na jehož počest jsme pro letošní ročník provedli i redesign loga naší konference, právě v duchu jeho piktogramů pro pražské metro.

Ing. **Ondřej Bret**

Katedra železničních staveb

Fakulta stavební ČVUT



Obsah

Čížek, J. Vyhodnocování variantních konfigurací nástupišť s přístupem přes centrální přechod	7
Horák, M.; Kuchár, M.; Wapiennik, T. Rychlost nákladních vlaků v kolejových spojeních a rozvětveních	19
Klinský, T.; Brynda, F. Vývoj nového orientačního systému pro metro	27
Navrátilová, E. Biodiverzita tramvajových kolejišť	41
Pospíšil, J.; Horníček, L. Porovnání výsledků statické zatěžovací zkoušky podle české, francouzské a německé metodiky	51
Seidl, J. Výzkum snížení nákladů nehod tramvají s osobními automobily	64
Vrba, J. Optimalizace algoritmu aktivního natáčení dvojkolí kloubové tramvaje v obloucích s velmi malými poloměry	73
Kruntorád, J. Analýza emisí hluku na styku kola a kolejnice	86
Krejčí, J. Parametry ovlivňující elektrizaci tratí v souvislosti s nasazením vozidel s akumulátorem	95

Vyhodnocování variantních konfigurací nástupišť s přístupem přes centrální přechod

Ing. Jiří Čížek¹

ČVUT v Praze Fakulta dopravní
Konviktská 20, Praha 1, 110 00
e-mail_1: cizekji4@fd.cvut.cz

Abstrakt

Obsahem příspěvku je představení metodiky pro hodnocení konfigurací nástupišť ve stanicích na tratích s malou intenzitou provozu, v nichž je přístup na nástupiště řešen úrovnovým centrálním přechodem. Součástí příspěvku je aplikace této metodiky.

Klíčová slova

Regionální dráhy, nástupiště, poloostrovní nástupiště, úrovnový centrální přechod.

Evaluation of alternative platform configurations with access via central crossing

Abstract

This paper presents a methodology for evaluating platform configuration on lines with low-density traffic where platforms are accessible via pedestrian level crossing. It also gives an example of the application of this methodology.

Keywords

Regional lines, platforms, level-access platforms, pedestrian level crossing.

1. Úvod

Nástupiště s přístupem přes centrální přechod, též zvaná poloostrovní, se poprvé na žel. síti ČR začala objevovat na přelomu tisíciletí. Toto inovativní řešení umožnilo výraznou kultivaci stanic na tratích regionálního významu, zvýšení komfortu pro cestující, bezbariérovost a bezpečnost. Současně umožnilo výrazně snížit náklady na rekonstrukce těchto stanic v porovnání s tzv. plnou peronizací, tedy zřízením výhradně vnějších a ostrovních nástupišť za využití podchodu (příp. lávky).

Až do roku 2009 neměla poloostrovní nástupiště žádnou oporu v legislativě. Zlomem bylo uveřejnění normy ČSN 73 4959 Nástupiště a nástupištní přístřešky na drahách celostátních, regionálních a vlečkách. Tato norma mimo jiné definuje pojmy poloostrovní nástupiště a centrální přechod, stanoví požadované rozměry takových nástupišť a její velmi důležitou součástí je také informativní příloha E, která uvádí příklady konfigurací nástupišť ve stanicích a zastávkách. [1]

Ačkoli norma popisuje několik typů konfigurace, nijak se nezaměřuje na vyhodnocování variantních řešení. Autor tohoto příspěvku takovou hodnotící metodiku navrhuje a aplikuje ji na vybraných studentských pracích, jejichž součástí je návrh stanice s přístupem cestujících na nástupiště přes centrální přechod.

2. Sledované staniční konfigurace

V současné podobě je dále autorem tohoto příspěvku navržená metodika hodnocení uzpůsobena pro hodnocení stanic mezilehlých, přípojných a odbočných na jednokolejných tratích s minimálně dvěma a maximálně třemi nástupními hranami. Tyto okrajové podmínky vychází z legislativy, která v současnosti neumožňuje zřízení poloostrovních nástupišť na dvou a víceokolejných tratích, a také z předpokladu, že stanice se složitějším dopravním programem jsou zpravidla vždy řešeny individuálně dle místních potřeb a nelze je zobecnit na úroveň srovnatelnou s níže popsány typy. Mezi tyto typy jsou kromě výše popsaných řešení s poloostrovním nástupištěm a úrovnovým centrálním přechodem zařazena také taková řešení, která kombinují různé konfigurace vnějších nástupišť. Ta sice přímo neodpovídají výše popsané definici, ale jsou často zvažována jako jejich alternativa a je tedy vhodné je navzájem porovnávat.

Z normy ČSN 73 4959, přílohy E, části b) – stanice na jednokolejné trati, byla vybrána následující typizovaná řešení, která odpovídají výše popsané definici:

- Vnější nástupiště na jednokolejné trati, umísťují se ze strany přístupu (např. od obce, výpravní budovy). Pro potřeby tohoto příspěvku je tato konfigurace označena jako varianta **2A**. Příkladem realizace je železniční stanice Praha-Zličín.
- Vnější a poloostrovní jednostranné nástupiště na jednokolejné trati, poloostrovní nástupiště je přístupné přes centrální přechod.

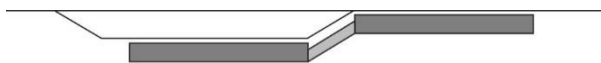
Označení této varianty **2B**. Do této skupiny patří např. stanice Loděnice.

- Poloostrovní oboustranné nástupiště na jednokolejně trati přístupné přes centrální přechod. Tato varianta má v rámci tohoto dokumentu označení **2C**. Touto formou je řešena například železniční stanice Davle.

Zároveň lze za využitelné řešení považovat také takovou konfiguraci, kdy je stanice vybavena dvěma vnějšími nástupišti. Zmiňovaná norma takovou konfiguraci nezná přímo, ale jedná se o obdobu zastávky s vnějšími nástupišti na dvojkolejně trati s přístupem na nástupiště pro daný směr jízdy přes přilehlý železniční přejezd (případně přechod). V příspěvku je toto řešení zařazeno pod označením **2D**. Lze sem zařadit například žel. stanici Harrachov.

Řešení se třemi nástupními hranami v normě bezprostřední podporu nemá. Jedná se zpravidla o různé kombinace řešení popsaných výše. Pro potřeby tohoto příspěvku jsou zavedeny následující čtyři kategorie:

- Kombinace vnějšího a poloostrovního oboustranného nástupiště, označení **3A**. Příkladem takové realizace je železniční stanice Černý Kříž.
- Jedno vnější a dvojice jednostranných poloostrovních nástupišť s označením **3B**. Tímto způsobem je řešena například železniční stanice Raspenava.
- Ostrovní nástupiště s vybíhající jazykovou hranou. Tato varianta je označena **3C** a příkladem je železniční stanice Smržovka.
- Kombinace dvou vnějších nástupišť s částečným rušením vlakových cest doplněná o další hranu, např. jazykovou. Do této skupiny lze zařadit žel. stanici Mikulov na Moravě. Označení této varianty je **3D**. Specifickým případem je kombinace ostrovního a vnějšího nástupiště s částečným rušením vlakových cest. Tomu odpovídá železniční stanice Uničov a vzhledem k velmi podobnému efektu na technologii provozu je tento případ rovněž zařazen do této kategorie.



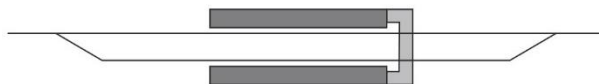
Obr. 1. varianta 2A



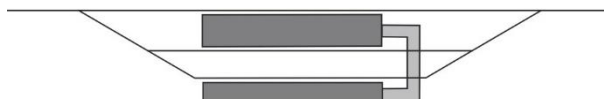
Obr. 2. varianta 2B



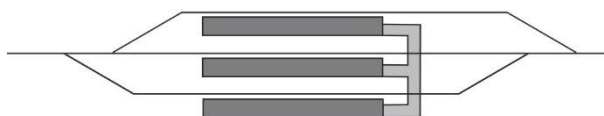
Obr. 3. varianta 2C



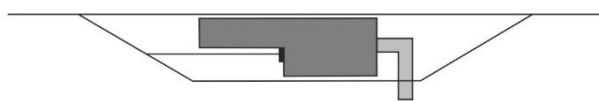
Obr. 4. varianta 2D



Obr. 5. varianta 3A



Obr. 6. varianta 3B



Obr. 7. varianta 3C



Obr. 8. varianta 3D



3. Metodika hodnocení

3.1. Analytická část

Na vzorku 24 stanic byly v první fázi zkoumání ověřovány charakteristické vlastnosti pro různá řešení. Za klíčový parametr pro jejich hodnocení byla zvolena docházková vzdálenost. Ta byla posuzována zvlášť pro přístup na nástupiště z uličního prostoru a z prostor pro cestující. Do tohoto údaje se promítá také počet přecházených kolejí ve formě penalizace. Pro potřeby tohoto příspěvku byla penalizace řešena odhadem, reálný vliv křížení pěších tras s kolejemi bude nutné prověřit detailněji, např. experimentálně.

Do hodnocení stanic se promítá také křížování v řešené stanici, a to tím způsobem, že pokud zde křížování probíhá, jsou zvýhodněny ty stanice, které minimalizují počet křížení pěších tras s kolejemi. Na výsledný stav má vliv také využití či nevyužití staniční budovy, z toho důvodu je tento

parametr zařazen mezi hodnotící kritéria. V tomto parametru jsou v případě, že je výpravní budova zachována, zvýhodněny stanice s vnějším nástupištěm, zatímco pokud zachována není, zlepšuje se hodnocení stanic s nástupištěm ostrovním, v ideálním případě doplněným o přístřešek přímo na nástupišti.

V analytické části se podařilo nalézt několik charakteristik, které následně citelně usnadnily návrh hodnocených parametrů:

- Pro stanice se dvěma hranami: Z hlediska šířkového uspořádání je nejvýhodnější varianta 2A za cenu velmi nevýhodného délkového uspořádání, následovaná variantami 2C, 2D, 2B. Obdobně u stanic se třemi hranami je šířkově nejefektivnější var. 3D (opět se značným vlivem na délkové uspořádání) následovaná typy 3C, 3A, 3B.
- Pokud je výpravní budova nadále využívána, je to výhodné pro typy 2A, 2B, 3A, 3B, 3D.
- Pokud ve stanici pravidelně probíhá křižování, mají být preferovány typy s poloostrovním nástupištěm oboustranným z důvodu lepší organizace pohybu cestujících.
- Pokud ve stanici dochází k obratu souprav, je výhodné použít jazyková nástupiště.
- Existuje-li v místě nástupiště nebo centrálního přechodu požadavek na zřízení/zachování další koleje bez nástupní hrany, je vhodné preferovat taková řešení, která neznemožní její zřízení. Pokud koleje sousedí z jedné strany, doporučuje se umístit takové koleje na protilehlé straně výpravní budově/přístřešku a vyvarovat se použití vnějšího nástupiště (týká se pouze varianty 2D), pokud mají být koleje tímto způsobem umístěny z obou stran od nástupiště (například pokud je překládková plocha na straně přilehlé staniční budově a zároveň nelze řešit přístup z opačné strany), doporučuje se volit varianty se všemi nástupními hranami soustředěnými na jedno nástupiště (2C, 3C)
- Převažuje-li ve stanici (netýká se stanic mezilehlých) přestup mezi vlaky nad nástupem/výstupem, jsou výhodná taková řešení, která sdružují co nejvíce nástupních hran k jednomu nástupišti (jazyková nástupiště, případně oboustranná poloostrovní). Naopak převažuje-li nástup/výstup, doporučuje se vybírat řešení s co největším počtem nástupišť bez přístupu přes přechod.
- Je-li provázanost s přednádražím liniová (např. více přístupů na vnější nástupiště, terminál VHD, souběžné parkoviště, rozsáhlá výpravní budova), doporučuje se využít co nejvíce nástupiště vnější. Naopak je-li přístup pouze v jednom bodě (přilehlý přejezd, průchod mezi budovami atd.), nepřináší vnější nástupiště z tohoto hlediska žádnou výhodu oproti nástupišťům poloostrovním oboustranným.
- Pokud existuje v dané lokalitě požadavek na zprůchodnění oblasti, tj. oboustranný přístup ke kolejišti a nástupišťům, je vhodné volit takové varianty, které toto umožní. V současné době je téma centrálních přechodů a prostupnosti kolejištěm široce diskutováno

a předpokládá se, že legislativa bude v dohledné době upravena tak, aby tuto možnost ošetřovala. Pravděpodobně bude bližší specifikace této problematiky součástí novelizace normy ČSN 73 4959, která by měla vstoupit v platnost během roku 2025.

3.2. Stanovení hodnocených parametrů

Na základě poznatků v kapitole 3.1 byla vytvořena hodnoticí matice, která na základě výše popsaných okrajových podmínek a stavů, které mohou v těchto parametrech nastat, hodnotí jednotlivé varianty body. Bodovací systém je následující:

- 0 bodů, pokud je zvolené řešení nevýhodné v porovnání s ostatními variantami
- 1 bod, pokud nemá volba tohoto řešení žádný vliv na konečný charakter stavby
- 2 body, pokud je řešení přínosné
- 3 body, pokud je řešení přímo určené k maximálnímu naplnění tohoto účelu.
- Vyřazení z bodování (v tabulce označení „x“), pokud je pro danou vstupní podmínku zvolené řešení zcela nepoužitelné.

V tabulce níže jsou vyjmenovány všechny stavy, které u parametrů mohou nastat, a bodové ohodnocení jednotlivých variant.

Parametr\varianta	2A	2B	2C	2D	3A	3B	3C	3D
Optimalizace šířkového uspořádání_Relevantní	2	0	1	1	1	0	1	2
Optimalizace šířkového uspořádání_Irelevantní	0	0	0	0	0	0	0	0
Optimalizace délkového uspořádání_Relevantní	x	0	0	0	0	0	0	x
Optimalizace délkového uspořádání_Irelevantní	0	0	0	0	0	0	0	0
Využití původní výpravní budovy_Ano	3	2	0	2	1	2	0	2
Využití původní výpravní budovy_Ne	0	1	3	1	2	1	2	0
Zprůchodnění oblasti (oboustranný přístup)_Ano	0	1	2	3	2	2	3	0
Zprůchodnění oblasti (oboustranný přístup)_Ne	3	2	1	0	1	1	0	3
Křižování_Pravidelné	x	1	2	2	2	1	2	x
Křižování_Nepravidelné	0	0	0	0	0	0	0	0
Obrat souprav_Pravidelný	2	1	1	0	1	1	3	3
Obrat souprav_Nepravidelný	0	0	0	0	0	0	0	0
Zachování kolejí bez nástupní hrany (v místě nástupišť)_Oboustranně	x	x	0	x	x	x	0	x
Zachování kolejí bez nástupní hrany (v místě nástupišť)_Jednostranně	0	0	0	x	0	0	0	0
Zachování kolejí bez nástupní hrany (v místě nástupišť)_Ne	0	0	0	0	0	0	0	0
Tok cestujících_Převažuje nástup/výstup	0	0	0	0	1	2	0	3
Tok cestujících_Vyvážený	0	0	0	0	1	1	0	0
Tok cestujících_Převažuje přestup	0	0	0	0	1	0	3	0
Tok cestujících_Mezilehlá	3	3	3	3	0	0	0	0
Provázanost s přednádražím_Bodová	2	1	1	0	1	1	2	0
Provázanost s přednádražím_Liniová	0	1	1	2	1	1	0	2
Součet	15	13	15	14	15	13	16	15

Tab. 1. Tabulka hodnocení parametrů a stavů

Vysvětlivky k parametrům:

- **Optimalizace šířkového uspořádání** nabývá dvou stavů – buď relevantní, nebo irrelevantní. Zvýhodňuje taková řešení, která v rámci skupiny (dvě hrany či tři hrany) umožňují nejlepší redukci prostoru z hlediska šířky. Naopak znevýhodňuje řešení s největšími prostorovými požadavky. Pokud nejsou v lokalitě šířková omezení

- relevantní, nepřidává tento parametr žádné variantě bodové zvýhodnění.
- **Optimalizace délkového uspořádání** vylučuje z bodování varianty, které využívají řešení se dvěma za sebou řazenými nástupišti, tj. 2A a 3D. Na ostatní varianty nemá žádný bodový vliv.
 - **Využití původní výpravní budovy** – ANO/NE. Pokud je výpravní budova využívána, jsou zvýhodněny varianty s vnějším nástupištěm. Pokud není, jsou preferovány varianty, které sdružují všechny nástupní hrany ve stanici na jedno nástupiště.
 - **Křižování** – pravidelné/nepravidelné. Pokud je pravidelné, zvýhodňuje varianty, které minimalizují počet míst pro přecházení cestujících. Naopak vylučuje varianty se dvěma za sebou řazenými hranami. Pokud je nepravidelné, nemá vliv.
 - **Obrat souprav**. Zvýhodňuje varianty, které umožňují úpravu kolejí tak, aby některá z kolejí byla kusá. Pokud obrat souprav neprobíhá, nemá na výsledek vliv.
 - **Zprůchodnění oblasti** – ANO/NE. Jsou preferovány varianty, kde lze centrální přechod využít k propojení obou stran kolejí. Naopak u variant sdružujících přístup na jednu stranu je hodnocení zvýšeno, pokud se zprůchodnění nepředpokládá.
 - **Zachování kolejí bez nástupní hrany** – oboustranně/jednostranně/ne. Pokud v úrovni nástupíšť je požadavek na zřízení další koleje a zvolená varianta to umožňuje (řešení, které spočívá v tom, že je další kolej bez nástupní hrany od zbytku kolejí oddělena nástupištěm, se nepřipouští), je to považováno za vhodné řešení.
 - **Tok cestujících**. Pokud se jedná o mezilehlou stanici, zvýhodňuje řešení se dvěma hranami. Pokud se jedná o stanici jiného účelu, zvýhodňuje varianty se třemi hranami. Zde je pak dále posuzováno, zda převažuje nástup/výstup, přestup, nebo jsou toky vyvážené. Pokud převažuje nástup/výstup, jsou preferována řešení s maximálním možným využitím vnějších nástupíšť. Naopak pro přestup jsou preferována nástupiště poloostrovní.
 - **Provázanost s přednádražím** se dělí na bodovou a liniovou. Bodová zvýhodňuje řešení s větším množstvím přístupů na nástupiště přes centrální přechod, liniová naopak jejich minimalizaci.

3.2. Přidělení vah k parametrům

Parametry byly rozděleny do dvou skupin důležitosti. Do první skupiny byly zařazeny takové parametry, které mají zásadní vliv na funkčnost a proveditelnost daného řešení (zprůchodnění oblasti, křižování, tok cestujících, optimalizace šířkového uspořádání). Parametry, které mají vliv spíše na kvalitu řešení, jsou řazeny do druhé kategorie (zachování výpravní budovy, obrat souprav, provázanost s přednádražím).

Speciální kategorií jsou zachování koleje bez nástupní hrany a optimalizace délkového uspořádání, jejichž jedinou funkcí je vyřazovat varianty zcela nevhodné pro dané okrajové podmínky. Pro potřeby tohoto hodnocení jsou zařazeny do druhé skupiny, na bodování však nemají žádný vliv.

Výpočet vah parametrů je proveden upravenou Saatyho metodou, kdy namísto trojnásobné váhy významnějších parametrů je zvolena pouze váha dvojnásobná. Následně jsou spočteny geometrické průměry vzájemných vztahů pro každý parametr. Výsledná tabulka vypadá takto:

	PsP	TC	VPVB	ZP (OP)	K	OS	ZKbNH	OŠÚ	ODÚ	Geom. průměr	Váha
Provázanost s přednádražím	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	0,735	0,077
Tok cestujících	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,470	0,154
Využití původní výpravní budovy	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	0,735	0,077
Zprůchodnění oblasti (oboustranný příst)	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,470	0,154
Křižování	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,470	0,154
Obrat souprav	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	0,735	0,077
Zachování kolejí bez nástupní hrany (v m)	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	0,735	0,077
Optimalizace šířkového uspořádání	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,470	0,154
Optimalizace délkového uspořádání	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	0,735	0,077

Tab. 2. upravená Saatyho matice

4. Ukázka výstupu hodnotící metodiky

Autor si pro ukázkou výstupu hodnotící metodiky zvolil modernizaci železniční stanice Nový Bor, kterou zpracovával ve své diplomové práci Zvýšení traťové rychlosti v úseku Česká Lípa – Jedlová. [4]

Tato železniční stanice musí při navržených úpravách splnit následující požadavky:

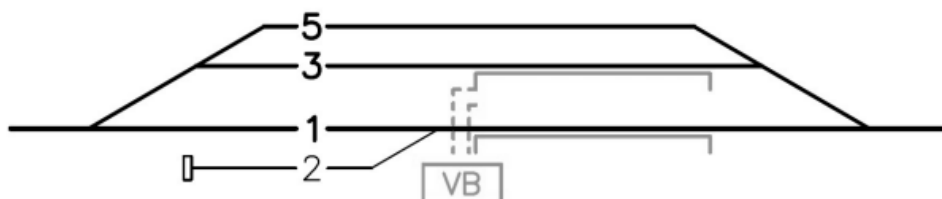
- 2 nástupní hrany délky 100 m,
- 3 dopravní koleje, alespoň jedna z nich s délkou min. 300 m,
- 1 manipulační kolej na straně přilehlé výpravní budově (mimo úroveň nástupišť),
- zachování stávající výpravní budovy.

Další parametry, které jsou nezbytné pro zadání vstupních podmínek do multikriteriální analýzy:

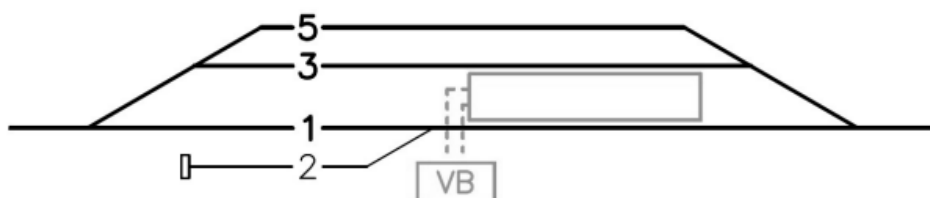
- Šířkové a délkové poměry pro umístění nástupišť jsou příznivé, tyto parametry budou tedy hodnoceny jako irelevantní.
- Oblast nebude zprůchodňována.
- Křižování a obrat souprav zde budou pravidelně probíhat.
- Provázanost s přednádražím je spíše liniová vzhledem k více možnostem přístupu na I. nástupiště.

Autor vypracoval dvojici projekčních variant označených Nový Bor 1 a Nový Bor 2. Ve variantě Nový Bor 1 se předpokládá zřízení vnějšího nástupiště u koleje č. 1 a poloostrovního jednostranného nástupiště u koleje č. 3 přístupného přes centrální přechod. Varianta Nový Bor 2 navrhuje nástupiště

poloostrovní oboustranné mezi kolejemi 1 a 3 rovněž s přístupem přes centrální přechod.



Obr. 9. Schéma varianty Nový Bor 1



Obr. 10. Schéma varianty Nový Bor 2

Po vložení okrajových podmínek do metodiky je výstup následující:

Charakteristika st. dle polohy na síti	Mezilehlá									
Kritérium	Váha	Stav	2A	2B	2C	2D	3A	3B	3C	3D
Optimalizace šířkového uspořádání	0,15	Irelevantní	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Optimalizace délkového uspořádání	0,08	Irelevantní	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Využití původní výpravní budovy	0,08	Ano	0,23	0,15	0,00	0,15	0,08	0,15	0,00	0,15
Zprůchodnění oblasti (oboustranný p	0,15	Ne	0,46	0,31	0,15	0,00	0,15	0,15	0,00	0,46
Křižování	0,15	Pravidelné	X	0,15	0,31	0,31	0,31	0,15	0,31	X
Obrat souprav	0,08	Pravidelný	0,15	0,08	0,08	0,00	0,08	0,08	0,23	0,23
Zachování kolejí bez nástupní hrany (v	0,08	Jednostranně	0,00	0,00	0,00	X	0,00	0,00	0,00	0,00
Tok cestujících	0,15	Převažuje nás	0,46	0,46	0,46	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00
Provázanost s přednádražím	0,08	Liniová	0,00	0,08	0,08	0,15	0,08	0,08	0,00	0,15
			X	1,23	1,08	X	0,69	0,62	0,54	X

Tab. 3. Výstup multikriteriální analýzy aplikovaný na projekt modernizace žst. Nový Bor

Z prezentovaných výsledků vyplývá, že nejlepšího bodového ohodnocení dosáhla varianta 2B, tedy řešení s vnějším a poloostrovním jednostranným nástupištěm (odpovídá variantě Nový Bor 1). Varianta 2C s oboustranným nástupištěm poloostrovním má nižší bodové ohodnocení (Nový Bor 2). Varianty 2A a 3D byly vyloučeny z důvodu nevhodnosti pro pravidelné křižování. Varianta 2D není započítána vzhledem k nemožnosti vložit v úrovni nástupišť další kolej (dopravní kolej bez nástupní hrany). Varianty 3A, 3B, 3C mají hodnocení výrazně nižší, což je dáno parametrem *Tok cestujících*.

Ten byl hodnocen pro stanici mezilehlou, která významným způsobem znevýhodňuje konfigurace se třemi hranami.

Výsledkem tedy je, že metodika doporučuje zpracovat variantu Nový Bor 1, což je v souladu s doporučením, které autor ve své diplomové práci uvádí. Interaktivní mapa Správy železnic k investiční akci, kterou v této stanici připravuje, uvádí, že „bude vybavena dvojicí vnějších, bezbariérově přístupných nástupišť“. Autor předpokládá, že se jedná o řešení korespondující s variantou 2A prezentovanou v této práci. [5] Dle informací, které autor má, je uvažováno i s variantou poloostrovního nástupiště oboustranného, dle tohoto dokumentu typ 2C.

5. Závěr

Tento příspěvek popisuje návrh metodiky, jejíž součástí je multikriteriální analýza a jejímž účelem je popsat současnou praxi v navrhování železničních stanic s úrovnovým centrálním přechodem a vytvořit z ní jednotnou metriku pro hodnocení takových stanic. Ke zpracování výpočetního programu bylo dosud užito prostředí Microsoft Excel, výhledově se nabízí přepracování metodiky do samostatného programu nebo využití maker.

Nejprve je nadefinováno osm typizovaných řešení. Následně je v příspěvku popsána analytická část, v níž byly hledány specifické vlastnosti zkoumaných osmi variant realizací takových stanic. Na základě této analýzy je vytvořena bodovací metodika pro každou z variant na základě devíti kritérií. Hodnocená kritéria jsou dále rozdělena do dvou kategorií důležitosti a upravenou Saatyho metodou je vytvořen přepočet jejich vah. Zpětná kontrola průběžných výsledků ukazuje poměrně dobrý soulad s dokončenými či navrhovanými realizacemi takových úprav.

Do budoucna autor předpokládá další zdokonalování této metodiky, zejména ještě větší objektivitu napříč všemi vlivy, které do této problematiky vstupují. Další úsilí bude věnováno rozšíření portfolia řešení, které tato metodika dokáže vyhodnotit, například se nabízí doplnění stanic koncových, stanic s jedinou nástupní hranou apod.

Literatura

- [1] ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN 73 4959, Nástupišť a nástupištní přístřešky na drahách celostátních, regionálních a vlečkách. 04/2009.
- [2] KUBÁT, Bohumil; JACURA, Martin; TÝFA, Lukáš a VACHTL, Martin. *MOŽNOSTI ŘEŠENÍ NÁSTUPIŠŤ PŘI ÚPRAVÁCH ŽELEZNIČNÍCH STANIC V ČESKÉ REPUBLICE*. Online. In: <http://stanice.fd.cvut.cz/>. 2015. Dostupné z: <http://stanice.fd.cvut.cz/data/prispevky/nastupiste-zilina.pdf>. [cit. 2024-09-04].
- [3] JACURA, Martin; TÝFA, Lukáš; VACHTL, Martin a HLUBUČEK, Adam. *Poloostrovní nástupišť a jejich přínos pro osobní železniční dopravu*. Online. In: Silnice-Železnice. 2015. Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/poloostrovní-nastupiste-a-jejich-prínos-pro-osobní-zelezníční-dopravu/>. [cit. 2024-09-04].
- [4] *Zvýšení traťové rychlosti v úseku Česká Lípa – Jedlová*. Diplomová práce. Praha: ČVUT v Praze Fakulta dopravní, 2023. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/108983>
- [5] Interaktivní mapa správy železnic. Online. Správa železnic, státní organizace. 2024. Dostupné z: <https://mapy.spravazelezníc.cz/>. [cit. 2024-09-05].

Rychlost nákladních vlaků v kolejových spojeních a rozvětveních

Ing. Matouš Horák¹, Ing. Martin Kuchár², Tomáš Wapiennik³

*Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology
Veveří 331/95, 602 00 Brno*

e-mail_1: Matous.Horak1@vut.cz,

e-mail_2: Martin.Kuchar1@vut.cz,

e-mail_3: 227162@vutbr.cz

Abstrakt

Článek je součástí práce zabývající se rychlostmi vlaků v železničních stanicích. Nově byly do práce zahrnuty nákladní vlaky. V článku je popsáno přímé měření rychlostí při výjezdu z třídících nádraží, konkrétně žst. Břeclav-přednádraží, a jsou vysvětleny některé obtíže spojené s měřením.

Klíčová slova

Rychlost, zrychlení, třídící nádražní, vjezdová skupina, neutrální pole

Speed of trains in track junctions

Abstract

The article is part of the thesis dealing with train speeds in railway stations. Freight trains were newly included in the thesis. The article describes the direct measurement of speeds when leaving from marshalling yards specifically the Břeclav-přednádraží yard, and explains some of the difficulties associated with the measurement.

Keywords

Speed, acceleration, marshalling yard, receiving yard, neutral section

1. Úvod

Práce navazuje na předchozí měření rychlosti osobních vlaků [1]. Oproti tomuto měření se však bylo nutné vyřešit několik problematických faktorů, které se při měření osobních vlaků tolik neprojevovaly, zejména hmotnost souprav, která je u nákladních vlaků značně kolísavá a má zásadní význam pro chování při rozjezdu, a také samotná organizace měření a výběr lokality. Práce se v současné době nachází v úvodním stádiu, cílem článku je tedy seznámit čtenáře s předpoklady, se kterými bylo realizováno měření.

2. Cíle práce

Cílem práce je konstrukce rozjezdových a brzdných křivek nákladních vlaků. Tohoto cíle bude dosaženo dvěma způsoby, nejprve měřením „in situ“ a poté simulací v programu OpenTrack. Měření „in situ“ spočívá v měření rychlosti ručním radarem, v pozdějších fázích bude nahrazeno jinými metodami, například pomocí stabilních měřičů rychlosti. Simulace rozjezdů bude zpracována v pozdější fázi výzkumu.

Výsledné grafy rychlosti by měly sloužit k optimálnějšímu návrhu zhlaví stanic, v tomto případě zejména vjezdových a odjezdových skupin třídících nádraží. Vyšší vjezdová/odjezdová rychlost by ve výsledku mohla vést ke kratší době obsazenosti zhlaví a tedy ke zvýšení kapacity.

3. Metodologie a předpoklady

3.1. Hmotnost a délka souprav

Předchozí práce se zabývala měření rychlostí vlaků osobní dopravy, u nichž je ustálené a veřejně dostupné řazení souprav. Z těchto informací je možné alespoň orientačně odhadnout hmotnost vlaků, byť pro zcela přesné měření by měla být započítána i hmotnost přepravovaných osob při průměrné obsazenosti spoje. Oproti tomu, nákladních vlaků tyto informace nejsou běžně dostupné, přitom ale hmotnost soupravy hraje zásadní roli při rozjezdu, na délce soupravy zase závisí doba obsazení zhlaví. Pro účely měření se podařilo dohodnout sdělování těchto informací dispečerem CDP Přerov.

3.2. Výběr lokality

Dalším důležitým faktorem při realizaci měření byla volba lokality. Z cílů práce plyne, že by se mělo jednat o třídící nádraží (u osobních vlaků se jednalo o odbočné stanice). Po zvážení následujících předpokladů byla nakonec zvolena žst. Břeclav přednádraží, konkrétně hrušecké zhlaví:

- Vlaky by se měly rozjíždět z nulové počáteční rychlosti, tedy je nutné vybrat stanice, v níž dochází k třídění (resp. jiným dopravním úkonům, např. přepřah hnacího vozidla nebo střídání strojvedoucích) u velkého procenta vlaků, což vyloučilo například uvažovanou lokalitu Přerov
- Zhlaví vjezdové a odjezdové skupiny by mělo umožňovat vyšší rychlost, aby rozjezdy nákladních vlaků nebyly limitovány stavem infrastruktury. Tato podmínka u výsledné lokality splněna nebyla, zhlaví je v současném stavu konstruováno na rychlost 40 km/h. Mezi další zvažované lokality patřila i žst. Česká Třebová, kde sice napojení třídícího nádraží je provedeno štíhlými výhybkami (pro rychlost 60, resp. 80 km/h v odbočné větvi), nicméně napojení se nachází v odbočkách Zádulka a Parník, které jsou od samotného zhlaví značně vzdálené, samotné zhlaví je opět zkonstruované na rychlost 40 km/h
- Lokality by měla být umístěna na trati se silným nákladním provozem, měření je v současné době prováděno ručním radarem, tedy je nutná osobní přítomnost obsluhy, tedy je snahou o co největší počet vlaků během měření a tedy ve výsledku co nejvyšší efektivitu. Zvolená lokalita leží na II. tranzitním koridoru, který je silně zatížen nákladní dopravou, zejména ucelenými vlaky v relacích (Polsko –) Ostravsko – – Rakousko.

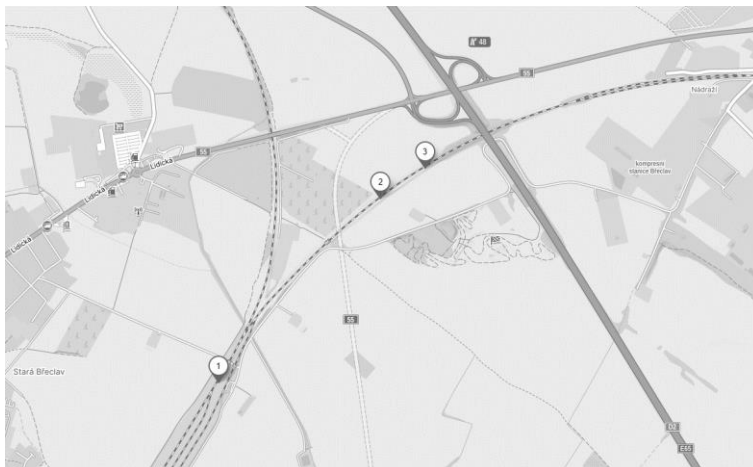
3.3. Přímé měření

Výchozí metodou bylo opět měření rychlosti ručním radarem. Přestože se v pozdějších fázích počítá s osazením stabilních měřičů, je nutné vybrat optimální místo pro jejich instalaci, a to právě pomocí měření ručním radarem [1].

K měření byl použit ruční radar Bushnell Speed Radar Gun, model 101911, výrobní číslo 001000250755-0000. Dle výrobce je schopen měřit hodnoty rychlosti v intervalu 17 – 322 km/h na maximální vzdálenost 457 m. Rozsah teplot je od 0 do 40 °C. Výrobce udává chybu měření je ± 2 km/h.

3.4. Měřicí stanoviště

Pro přímé měření bylo nutné zvolit vhodné měřicí stanoviště, jak ukazuje **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**



Obr. 1. Schéma měřicích stanovišť [2]

V první fázi bylo vybráno stanoviště přímo u zhlaví sloučené vjezdové a odjezdové skupiny, jak ukazuje Ob.



Obr. 2. Stanoviště č. 1

Toto stanoviště umožňovalo měřit vjezdy a odjezdy vlaků ze směru Hrušky, ale také Podivín. Nicméně rychlosti vlaků byly omezeny nízkou povolenou rychlostí přes obvod výhybek a mnohdy se pohybovaly pod spodní hranicí intervalu použitelnosti ručního radaru.

Důsledkem tohoto jevu, bylo, že měření bude provedeno z více stanovišť a výsledná křivka bude složena z více měření, přičemž vlaky budou rozděleny do kategorií s podobnou hmotností a délkou a stejným hnacím vozidlem a z těchto bude poté konstruována výsledná křivka.

Druhé stanoviště bylo umístěno v km 86,4, což znázorňuje Obr. 3.



Obr. 1. Stanoviště č. 2

Problematickým faktorem je, že se v tomto úseku nachází neutrální pole, vlaky vedené elektrickou lokomotivou tedy jedou výběhem bez odběru trakční energie, což se projeví i na grafu rychlosti.

Třetí stanoviště se nachází v 86,6, jak ukazuje Obr. 4, tedy za úsekem ovlivněným neutrálním polem.



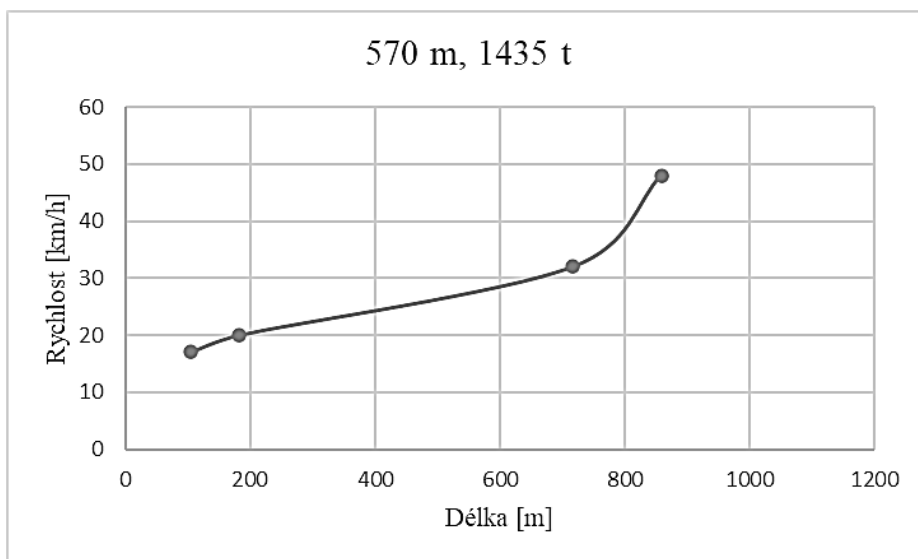
Obr. 2. Stanoviště č. 3

Bohužel v průběhu měření došlo k mimořádné události spojené se zastavením provozu a měření nebylo dokončeno.

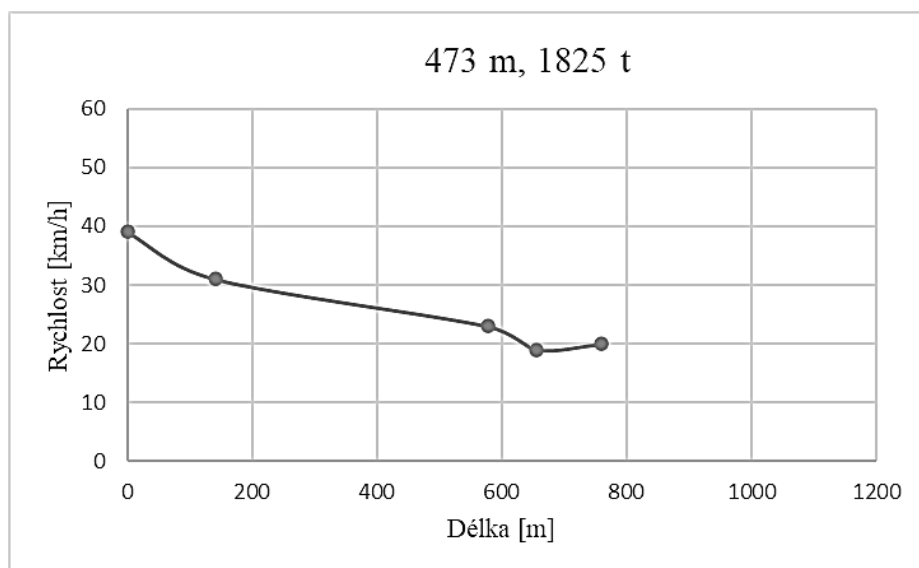
3.4. Další vlivy

Dalším faktorem ovlivňujícím měření jsou povětrnostní podmínky, doposud měření probíhalo za slunečného počasí s teplotami vzduchu v rozmezí 25 – 32 °C a nízkou vzdušnou vlhkostí. Nicméně lze předpokládat, že se rozjezdová křivka významně zploští při zvýšené vlhkosti a tedy sníženém součiniteli tření, zejména v kombinaci se spadným listím v podzimních měsících.

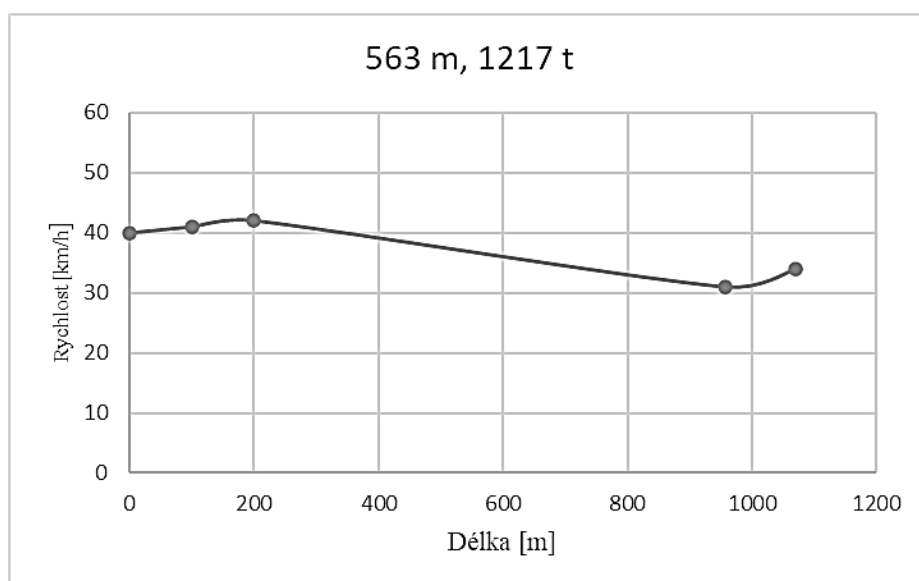
4. Výsledky



Obr. 3. Stanoviště 1, rozjezdová křivka



Obr. 4. Stanoviště 1, brzdná křivka



Obr. 5. Stanoviště 2, rozjezdová křivka (vliv neutrálního pole)

5. Diskuze

Vzhledem k tomu, že měření se nachází v úvodní fázi, jsou výsledky pouze orientační, přesto z nich lze vyvodit důsledky pro další organizaci měření, například umístění stabilních měřičů.

Pro další pokračování měření uvažujeme zahrnutí dalších stanovišť v lokalitě Břeclav-přednádraží, konkrétně měření vjezdů/odjezdů na trati ve směru na Podivín, trať ve směru Hrušky byla totiž ve sledovaném období postižena poklesem nákladní dopravy.

Dále uvažujeme nad změnou metody – osazení stabilních měřičů, nebo změnou celé organizace měření, zvažovali jsme rozbor rychloměrných proužků, resp. jejich elektronického ekvivalentu.

Dalším tématem k diskuzi je i změna lokality, zvažovali jsme třídicí nádraží Bohumín-Vrbice, popřípadě Ostrava-Kunčice, jiné lokality byly naopak vyloučeny (Přerov, Česká Třebová, viz kapitola 3.2). Další možností je měření rychlosti nákladních vlaků mimo třídicí nádraží, například v mezilehlých stanicích, kde dochází k předjíždění vlaky osobní dopravy (Podivín), nebo ve stanicích, kde dochází k přechodu zátěže na vlečku (Řečany nad Labem), popřípadě na odbočkách z třídicích nádraží (odb. Parník).

6. Závěr

Výsledkem práce bude analýza rychlostí nákladních vlaků v kolejových spojeních a rozvětveních. Práce se nachází v úvodní fázi, tedy výsledky jsou zatím pouze orientační, cílem článku je představit specifika, se kterými bylo nutné se při přípravě měření vypořádat. Práce bude dále pokračovat přímým měřením rychlosti a také ověřením v modelovacím programu OpenTrack.

Literatura

- [1] HORÁK, Matouš a Martin KUCHÁR. Sborník příspěvků ŽELVA 2023. 5. ročník. Praha: Katedra železničních staveb, Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2023. ISBN ISBN 978-80-01-07244-8.
- [2] SEZNAM.CZ, Mapa České republiky: 1:20 000. Online. Praha, 2024. Dostupné na: [https://mapy.cz/zakladni?vlastni-body&ut=Nový%20bod&ut=Nový%20bod&ut=Nový%20bod&uc=9nEIVxRXnO5085.Qgclg-h&ud=48°46%2713.378"N%2C%2016°54%2732.179"E&ud=48°46%2742.933"N%2C%2016°55%2711.846"E&ud=48°46%2747.823"N%2C%2016°55%2722.713"E&x=16.9154155&y=48.7763381&z=15](https://mapy.cz/zakladni?vlastni-body&ut=Nový%20bod&ut=Nový%20bod&ut=Nový%20bod&uc=9nEIVxRXnO5085.Qgclg-h&ud=48°46%2713.378)

Vývoj nového orientačního systému pro metro

Ing. Tomáš Klinský¹, Ing. arch. František Brynda²

Fakulta stavební ČVUT v Praze

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

e-mail_1: klinstol@cvut.cz,

e-mail_2: frantisek.brynda@fsv.cvut.cz

Abstrakt

Nedílnou součástí dopravního systému metra je služba pro navigaci cestujících v těchto prostorách – orientační a informační systém. Současně používaný systém stojí na principech systému Rostislava Vaňka z roku 1984. Vzhledem k jeho stáří a neautorizovaným změnám na přelomu tisíciletí se systém prakticky rozpadl. Na tuto situaci reaguje nový, orientační systém metra z dílny grafického studia Side2, a to v rámci komplexního projektu Jednotného informačního systému Čitelná Praha.

Klíčová slova

metro, orientační systém, navigace, typografie

New Metro Wayfinding system Development

Abstract

Wayfinding system and passenger information is an integral part of every metro transport system. The system that is currently in use is based on the principles of graphical design of Rostislav Vanek's system of 1984. Due to its unauthorised changes after year 1990, today's system is barely system anymore. A new metro wayfinding concept from Czech studio Side2 is now being developed as a part of whole project for Prague public transportation system called Čitelná Praha /Legible Prague.

Keywords

Metro, wayfinding, passenger navigation, typography

1. Historie orientačních systémů v metru

1.1. Systém Jiřího Rathouského

První soutěž na orientační systém v metru byla uskutečněna v roce 1973. Ze třech oslovených týmů zvítězil návrh Jiřího Rathouského. Signaturním prvkem Rathouského návrhu je písmo Metron vytvořené speciálně pro systém metra, inspirované tehdejšími písmy z 20. až 40. let 20. století.

Ukázalo se, že grafika předběhla svoji dobu a technické možnosti 70. a 80. let minulého století nepříliš zvýraznily čistotu Rathouského řešení – písmo nebylo možné sázet přesně dle odpovídajících principů a zářivky uvnitř světelných boxů mnohdy poblikávaly, svítily nestejnými odstíny nebo často praskaly. Ukázku systému představuje obr. 1 a 3 a problém se sazbou ukazuje obr. 2. [1] [2]



Obr. 1. Informační a navigační systém z dílny J. Rathouského ve stanici Staroměstská. [3]



Obr. 2. Ukázka nepříliš vhodné sazby písmem Metron. [2]



Obr. 3. Orientační systém ve stanici Muzeum. V pozadí jsou patrné prvky nového systému od R. Vaňka užívaného od roku 1984. [3]

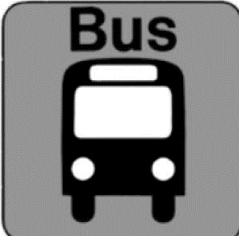
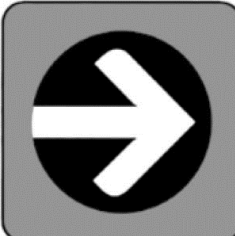
Fragmenty původního systému se dochovaly pouze na ostění stanic v podobě kovových liter.

1.2. Systém Rostislava Vaňka

Na základě výše uvedených skutečností bylo v roce 1984 rozhodnuto o tvorbě nového orientačního a navigačního systému, na které byl osloven právě

Rostislav Vaněk. Jeho návrh měl tři jasné principy. Prvním z principů byla změna písma na Helvetiku, a to z důvodu lepší čitelnosti díky uzavřeným tahům písmen. Dalším principem je rozdělení stávajících světelných boxů na šest dílů, které jsou oddělené bílou linkou. První řádek byl navržen jako barevně výrazný jakožto nosič dominantní informace. Posledním principem bylo negativní provedení informací tak, aby z butonů vystupoval světlý text z tmavého pozadí, což byla částečně i reakce na nedokonalé provedení tehdejších osvětlovacích těles. Koncept systému ukazuje Obr. 4.

← Tram	→ Bus
Směr Centrum	Dolní Počernice 208
Řáblice 10	Dubeč 228
Spořilov 11	Koloděje 229
Podbaba 26	Hostivař·Léčiva 238
Hostivař 42	Bus <i>ČSAD</i>

Dolní Měcholupy 111	 
Nový Hloubětín 146	
Sídliště Malešice 155	
Štěrboholý 163	
Koloděje 229	
Hostivař·Léčiva 238	

Obr. 4 Koncept systému R. Vaňka z roku 1984. Z tohoto systému uvádění linek bylo ustoupeno a v dnešní době se již nepoužívá. [1]

Ukázku původního systému R. Vaňka je patrná na obr. 5.



Obr. 5. Aplikace systému R. Vaňka ve stanici metra Karlovo náměstí. [4]

Stav po roce 2002 a živelné úpravy systému Rostislava Vaňka čítající inverzi grafiky včetně změny koncepce nosičů z prosvětlených boxů na nosiče nasvětlené, slangově nazývané jako „vlaštovky“ (na obr. 6) vedly prakticky k rozpadu celého systému.



Obr. 6. Koncepce nasvětlených nosičů „vlaštovek“ používaných po r. 2002. Konkrétní nosič je nasvětlen třemi zářivkovými tělesy, na fotografii jsou patrná tmavší místa v oblasti styku patič zářivkových těles. Stanice Dejvická, foto z archivu autorů

Jednalo se hlavně o nutnost rychlých úprav, oprav či faktických změn, které odstartovala obnova systému metra po rozsáhlých povodních. Dle dostupných analýz se aplikovaná praxe nedrží platného grafického manuálu, ve stanicích není komunikováno homogenně a mnohdy je značení zmatečné. [5][6]

2. Cesta k novému orientačnímu systému

2.1. Graficko-designérská soutěž a výběr vítězného návrhu

Na základě těchto skutečností a dlouhodobě neutěšených poměrů v této oblasti došlo k přípravě nové graficko-designérské soutěže, která byla po dlouhých přípravách vyhlášena v roce 2021. Jedná se dodnes o největší graficko-designérskou soutěž v dějinách Česka, jelikož se soutěže účastnilo 16 přihlášených týmů z 10 zemí světa. V soutěži zvítězilo české grafické studio Side2 v čele s Tomášem Machkem. [7]

2.2. Cesta od soutěžního návrhu k finální podobě

Dopracovaný soutěžní návrh je postupně testován a upravován na základě uživatelských průzkumů. Sběr zpětné vazby a ověřování probíhá následujícím způsobem:

- zpětnovazební dotazník na stránkách pid.cz
- uživatelské průzkumy
 - kvantitativní průzkum
 - kvalitativní průzkum
- specializované doprovázené návštěvy/místní šetření

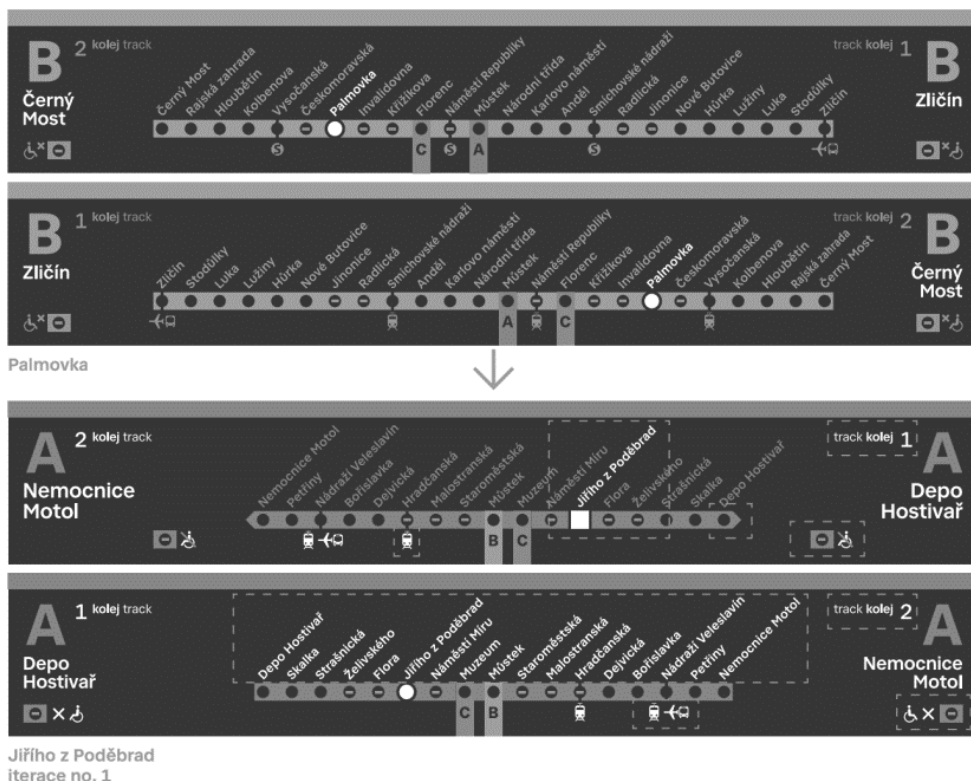
Kvantitativní průzkum probíhá zpravidla na vyšším počtu respondentů, vzhledem k jeho kratší délce 5-10 minut na něm nelze ověřovat hlubší kontextové souvislosti či porozumění.

Kvalitativní výzkum zjišťuje hloubkově srozumitelnost navrženého řešení a uživatelské preference. Základem kvalitativního průzkumu dotazování je sestavování tzv. reprezentativního vzorku, který poměrově reflektuje uživatele daného produktu/. Kromě „běžných“ cestujících je třeba dotazovat se i cestujících s omezením pohybu a orientace, s kognitivním omezením. Dle místní znalosti je žádoucí dotazovat se jak místních obyvatel, tak turistů a obyvatel s malou znalostí Prahy, jelikož dobře navržený orientační systém musí obsloužit všechny segmenty cestujících.

2.3. Poznatky na základě uživatelských průzkumů [8]

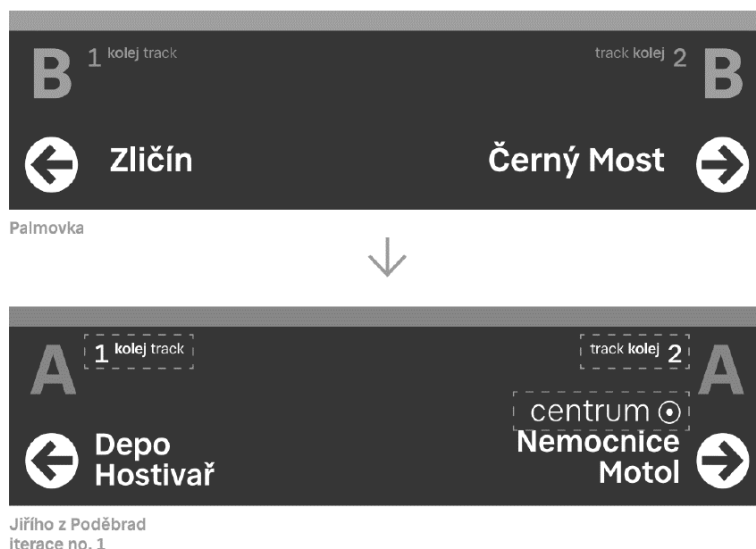
Z prvních uživatelských průzkumů vzešlo hned několik podnětů, které byly postupně zapracovávány. Např. z průzkumů v prostorách stanice metra Palmovka vyplynulo, že kontrast žlutého textu a na schématech stanic – „teploměrech“ je poněkud nedostatečný pro řešení původních nasvětlených nosičů. Proto muselo být přistoupeno ke změně koncepce, kdy názvy jednotlivých stanic byly již byly provedeny v bílé barvě.

Změn doznalo například grafické zvýraznění aktuální stanice v přehledech stanic – z testovaných variant kolečka a čtverečku byla nakonec zvolena varianta inverzní kostičky. Všechny informace vyvedené původně v šedé barvě byly rovněž změněny na barvu černou. Vývoj prvních kroků ilustrují obr. 7 a 8.



Obr. 7. Vývoj grafiky na základě uživatelských průzkumů.

Změn doznal také základní rozcestník. Na základě poznatků a výpovědí cestujících bylo doplněno označení „centrum“ tak, aby byl tento prvek využitelný větší množinou cestujících.



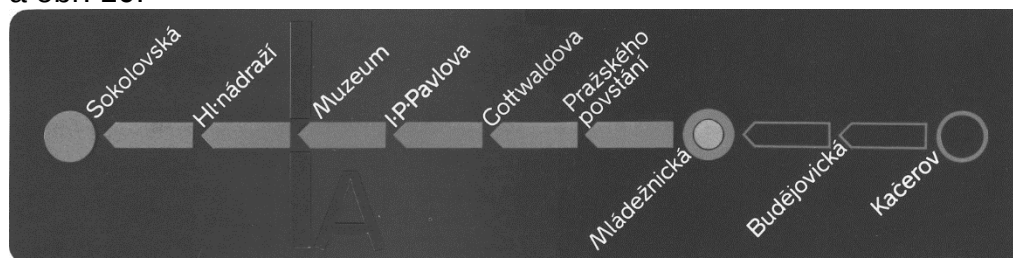
Obr. 8. Obrázky vkládejte prosím ve stupních šedé.

Na základě diskuse a místních šetření s organizací SONS (Sjednocená organizace slabozrakých a nevidomých) byla také upravena typografie číslic 6 a 9 tak, aby nedocházelo k jejich záměně s jinými čísly.

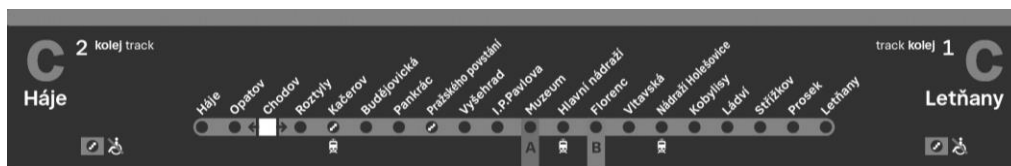
Důležitým faktorem po zapracování poznatků je propsání změněných prvků i do souvisejících grafických materiálů. Některé změny se tedy týkají téměř všech vizuálů.

2.4. Technické limity současného systému

Jak bylo uvedeno výše, současný orientační systém pracuje se stejnými rozměry nosičů takřka od počátků systému se současným zvětšením nároků na informační obsah – při zachování základních grafických a typografických principů se jedná o velmi složitý úkol, což ukazují obr. 9 a obr. 10.



Obr. 9. „Teploměr“, J. Rathouský 1974, 9 stanic, zobrazováno na nosiči o šířce 2 metry (na zbylých 2x0,5 m zobrazovány výrazné směrovací šipky).



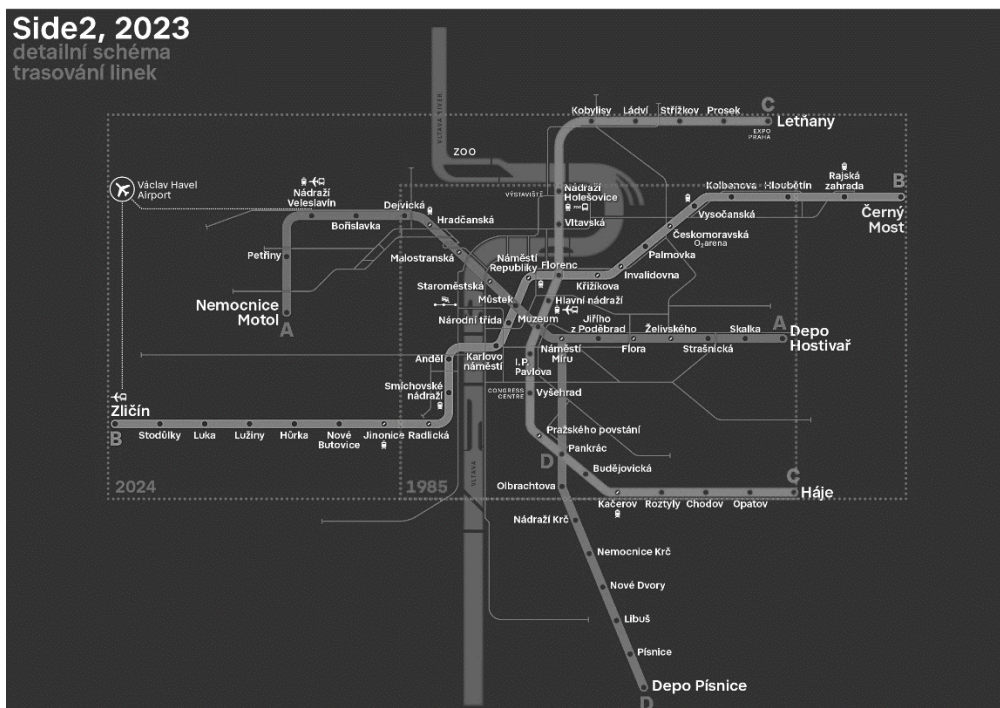
Obr. 10. „Teploměr“, Side2 2024, 20 stanic, zobrazováno na nosiči o šířce 3 metry.

S nedostatkem prostoru se ovšem nesetkávají jen stanice metra, ale i nosiče informačního a orientačního systému uvnitř vozů metra. Porovnání zobrazované dopravní sítě v roce 1985 a 2023 ukazuje obr. 11. Od konce minulého století došlo navíc ke zmenšení prostoru pro zobrazení téměř dvojnásobné dopravní sítě z 50x50 cm na 34,8x42 cm.

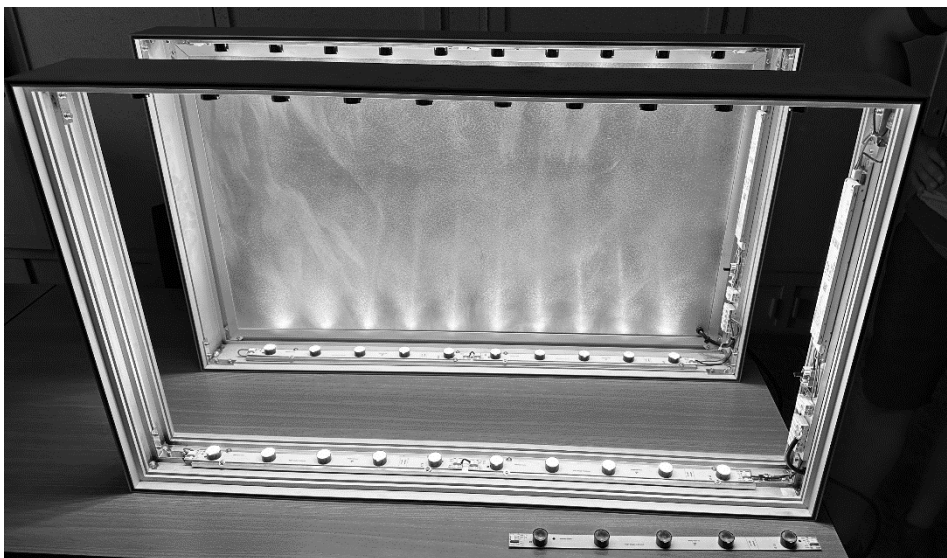
Snahou projektu je i změna koncepce tzv. modulů používaných ve stanicích metra. Současný systém pracuje s tzv. modulory o rozměrech 50x45(50) cm. Tyto moduly se buď používají samostatně (jednopiktogramová sdělení) nebo se skládají k sobě, typicky v nejvyšším počtu šesti modulů vedle sebe pro znázornění trasy linky ve stanici. Snahou nového systému je i změna rozměru základního modulu na 45x45 cm a zvýšení jejich řazení tak, aby rozměry nosičů informačního a orientačního systému lépe reflektovaly dnešní potřeby.

Současně pracujeme s novými požadavky na samostatné rozmístění informačních prvků ve stanici, jelikož stávající rozvržení vychází z filozofie snahy směřování cestujících na vhodnější místa. U stanic s eskalátorovým/schodišťovým tunelem se zpravidla jedná o snahu cestující navést co nejdále od vstupu, a to umístěním informačních a navigačních prvků až na vzdálený konec střední lodi/ střední části nástupiště, což z hlediska informování cestujících a podpory principu „dostanu informaci tehdy, kdy ji potřebuji“ není vyhovující.

Rovněž dochází k certifikaci a testování nových nosičů pro metro (na obr. 12), které budou lépe pracovat s grafikou v negativním kontrastu. Principem se bude jednat o návrat k původním principům, byť s novým technologickým řešením.



Obr. 11. Porovnání zobrazované oblasti dopravní sítě 1985 vs. 2024.
Ilustrační materiál studia Side2.



Obr. 12. Ukázka nově vyvíjeného prosvětleného nosiče. Zdroj: archiv autorů

3. Závěr

Informační systém je důležitou složkou systému metra. Jeho vývoj je multidisciplinární záležitost, na které se podílí mnoho profesí a odborností. Při vývoji takového systému je potřeba postupovat systematicky a důkladně tak, aby jeho používání bylo co nejintuitivnější, a to pro všechny skupiny cestujících. Současně vznikající systém studia Side2 je podrobován sériím uživatelského testování tak, aby byl systém co nejsrozumitelnější. Zároveň je třeba ze strany autorů a držitelů systému dohlédnout na respektování pravidel a stanovených principů, aby nedošlo k rozpadu systému tak, jako se stalo se systémem Rostislava Vaňka po roce 2000.

Literatura

- [1] BINAROVÁ, Daniela a Ludmila BOHÁČOVÁ. CZECHDESIGN. Po stopách orientačního systému pražského metra s Rostislavem Vaňkem. *Czechdesign* [online]. 2016 [cit. 2024-09-08]. Dostupné z: <https://www.czechdesign.cz/temata-a-rubriky/po-stopach-orientacniho-systemu-prazskeho-metra-s-rostislavem-vankem>
- [2] POHL, Olga. Jak se píše metro. *Olga Pohl* [online]. 2020 [cit. 2024-09-08]. Dostupné z: <https://olgapohl.cz/portfolio/jak-se-pise-metro-lidove-noviny/>
- [3] Historická fotogalerie - stanice - trasa A. *Metroweb* [online]. př. n. l. [cit. 2024-09-08]. Dostupné z: https://metroweb.cz/metro/historie/stanice/linka_a/STA043.jpg
- [4] Historická fotogalerie - stanice - trasa B. *Metroweb* [online]. př. n. l. [cit. 2024-09-08]. Dostupné z: https://metroweb.cz/metro/historie/stanice/linka_b/s_b.htm
- [5] ŤOPKOVÁ, Tereza. *Vývoj vizuálního stylu pražského metra*. Praha, 2020. Dostupné také z: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/119164/120360729.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práce. Univerzita Karlova.
- [6] PIŠKULA BOHÁČOVÁ, Ludmila. CZECHDESIGN. Ztracená identita pražského metra. *Czechdesign* [online]. 2016 [cit. 2024-09-08]. Dostupné z: <https://www.czechdesign.cz/temata-a-rubriky/ztracena-identita-prazskeho-metra>

- [7] CZECHDESIGN. *Mezinárodní soutěž na jednotný informační systém hlavního města Prahy* [online]. 2021 [cit. 2024-09-02]. Dostupné z: <https://www.czechdesign.cz/souteze/mezinarodni-soutez-na-jednotny-informacni-system-hlavniho-mesta-prahy>
- [8] Výsledky uživatelského výzkumu na Palmovce. In: *Pražská integrovaná doprava* [online]. 2023 [cit. 2024-09-08]. Dostupné z: https://drive.google.com/file/d/1KoPaJSIAb0bKRso6MY6nikfjMPEFXdxw/view?usp=embed_facebook

Poděkování

Děkujeme podpoře kolegů organizace ROPID za možnost publikovat tento článek.

Biodiverzita tramvajových kolejišť

Ing. Eva Navrátilová

Mendelova univerzita, Agronomická fakulta

Zemědělská 1, Brno 60200

e-mail: xnavra15@mendelu.cz

Abstrakt

Tramvajová kolejiště jsou velmi specifickým prostředím, zatím minimálně prostudovaným. Mohou se v nich vyskytovat jak nepůvodní druhy, tak druhy vzácné a ohrožené. Jedná se o prostředí s nepříznivými faktory pro růst a vývoj rostlin i živočichů (např. sucho, silně prohrátý povrch za slunných dnů, nedostatek základních živin, toxicita, narušování provozem tramvají). Organismy, které se v kolejištích vyskytují, musí být na tyto negativní vlivy adaptované nejrozličnějšími způsoby (Woźnica a kol., 2016, Wiłkomirski a kol., 2012).

Cílem právě probíhající disertační práce na téma „Biodiverzita tramvajových kolejišť“ je prozkoumat tramvajová kolejiště České republiky za účelem poznání diverzity třech ekologicky odlišných skupin organismů, tedy mechorostů, cévnatých rostlin a bezobratlých živočichů. Disertační práce bude řešit základní ekologické otázky týkající se vztahu jednotlivých skupin organismů k vlastnostem prostředí, jako je např. struktura povrchu, klima, stáří trati (sukcese vegetace po poslední rekonstrukci kolejiště).

Klíčová slova

Tramvajová kolejiště, urbanizace, biodiverzita.

Biodiversity of tram track

Abstract

Tram tracks are a very specific environment, as yet minimally studied. It may contain non-native species as well as rare and endangered species. It is environment with unfavourable factors for the growth and development of plants and animals (e.g. drought, strongly heated surface on sunny days, lack of essential nutrients, toxicity, disturbance by tram traffic). Organisms that occur in the tracks must be adapted to these negative influences in a variety of ways (Woźnica et al., 2016, Wilkomirski et al., 2012).

The aim of the ongoing dissertation is to investigate tram tracks in the Czech Republic in order to understand the diversity of three ecologically distinct groups of organisms, i.e. mosses, vascular plants and invertebrates. The dissertation will address basic ecological questions concerning the relationship of each group of organisms to environmental features such as surface texture, climate, track age (vegetation succession after the last track reconstruction).

Keywords

Tram tracks, urbanisation, biodiversity.

1. Úvod

V této době se čím dál více obyvatel stěhuje do měst, která se tím pádem neustále zvětšují. Tato skutečnost je příčinou úbytku biodiverzity a přirozených ekosystémů (Fisher a Kowarik, 2020). V rámci zachování alespoň kousku biodiverzity je tedy našim úkolem chránit zbývající ekosystémy a ve městech budovat ekosystémy umělé, jako jsou např. parky. (Vega a kol., 2021).

Značnou část měst zabírá dopravní infrastruktura, zvláště pak tramvajová kolejiště. Právě tramvajová kolejiště jsou velice specifickým prostředím, ve kterém se může nacházet mnoho zajímavých druhů organismů (Woźnica a kol., 2016, Witkomirski a kol., 2012).



Obr. 1. Tramvaj v zastávce Litvínov, Citadela (autorka fotografie: Ing. Eva Navrátilová)

2. Biodiverzita rostlin v kolejištích

Některé dopravní podniky se právě skrze tramvajová kolejiště snaží přispět k ozelenění měst a buduje tzn. zelená kolejiště, tedy kolejiště pokrytá vegetačními pásy buďto travnatými či se sukulenty. S rostlinami se ovšem můžeme setkat i mimo vegetační pásy. Útočisté mohou najít také např. na šterkovém svršku či v dlažebních kostkách (Rendeková, 2020, 2022).

Rostliny vyskytující se v tramvajových kolejištích se musely adaptovat nejrozličnějším nepříznivým podmínkám. Tyto rostlinné druhy jsou ve většině případů hemikryptofyty – víceleté druhy s hlubokým kořenovým systémem, které jsou schopné tolerovat širokou škálu nepříznivých faktorů. Jedná se např. o druhy z čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) či hvězdnicovitých (*Asteraceae*). Kvůli disturbovanému povrchu se v kolejištích ovšem nachází i terofyty – vysoce odolné jednoleté (případně ozimé) rostliny, kterým chybí obnovovací pupeny a nepříznivé podmínky přečkávají v semenech klíčících v podzimních, zimních či jarních měsících. Patří sem např. laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*).

Listy těchto rostlin jsou velice často xeromorfní, mají tedy silně vyvinutou kutikulu chránící před nedostatkem vody. Typická bývá také světlomilnost, zejména pak u sukulentních rostlin, jako jsou rozchodníky (*Sedum* spp.). Typická je také rezistence vůči herbicidům (kterými jsou kolejiště často ošetřována) a vůči pojezdu, kterému jsou rostliny denně vystavovány. Právě vůči pojezdu je odolné např. rdesno ptačí (*Polygonum aviculare*), které se často vyskytuje také v jednoleté vegetaci sešlapávaných stanovišť (Dřevojan a kol., 2022; Sudnik-Wójcikowska & Galera, 2005).



Obr. 2. Vegetační kryt na zastávce Výstaviště, v Praze (autorka fotografie: Ing. Eva Navrátilová)

3. Biodiverzita živočichů v kolejištích

Co se týče organismů z říše zvířat vyskytujících se v tramvajových kolejištích, existuje pouze několik publikací o obratlovcích. Bylo prokázáno, že dopravní infrastruktura má značný vliv na život ptáků. Některé druhy, např. straka obecná (*Pica pica*), jsou schopny využívat tramvajovou dopravu pro svůj prospěch, tzn.:

- Elektrické kabely používají jakožto místo pro oddych a rozhled po okolí.
- Pravidelně sekané vegetační pásy jim slouží jako zdroj potravy.
- Potravu jim mohou poskytnout také cestující, kteří na zastávkách či přímo v kolejištích pohazují odpadky a zbytky jídla (Szala a kol., 2020)

Pojezdy tramvají mohou mít samozřejmě také negativní vliv na zvířata. Tato problematika byla řešená ve vztahu tramvajových kolejíšť s pohybem mloků. Kolejový svršek byl pozorován jakožto přechod pro tyto ocasaté obojživelníky. Výsledek byl poměrně překvapivý díky nízké mortalitě. Tento závěr značí, že kolejový svršek mlokům slouží jakožto poměrně „bezpečný“ přechod v městském prostředí (Kaczmariski a Kaczmarek, 2016).

Co se týče bezobratlých živočichů, přímo z tramvajových kolejíšť vědecké práce o jejich výskytu dokumentované nejsou. Velice podobná jsou ale kolejíště vlaková vedená skrze města. Příkladem je železniční most ve Švýcarsku. Kolejový svršek tvořený štěrkem skýtal velké množství populací nejrůznějších druhů bezobratlých živočichů. (Braschler a kol., 2020)



Obr. 3. Bezobratlí živočichové v kolejíšti na zastávce Lesná, Čertova rokle, v Brně (autorka fotografie: Ing. Eva Navrátilová)

4. Hypotézy a cíle disertační práce

Hypotézy závěrečné práce jsou následující:

- V prostředí kolejového svršku se budou vyskytovat jak specialisté adaptovaní na stresující, suché, místy zasolené a provozem silně ovlivněné prostředí, ale také urbánní generalisté (běžné druhy městského prostředí, především jednoleté i víceleté plevely, semenáčky dřevin).
- Zastoupení druhů, jak rostlin, tak i živočichů, bude narůstat během sukcese v závislosti na době od poslední rekonstrukce tramvajových kolejíšť a jejich okolí.

- Podíl nepůvodních druhů, včetně invazních, bude závislý na poloze studované části kolejíště (vzdálenost od centra, okolní zástavba: historické centrum, průmyslová část, sídliště, park).
- V závislosti na biologii a způsobech šíření rostlin předpokládáme u sypkých povrchů vyšší počet taxonů a pokryvnost cévnatých rostlin než mechorostů, zatímco u hladkých povrchů se spárami se budou mechorosty ve srovnání s cévnatými rostlinami uplatňovat významněji.
- V tramvajových kolejíštích se budou vyskytovat taxony z různorodých skupin bezobratlých živočichů (korýši, pavouci, mravenci, blanokřídlí, brouci, mšice, polokřídlí), zejména běžné synantropní druhy, nespécializovaní škůdci.
- Organismy vyskytující se v prostředí tramvajových kolejíšť budou adaptovány na půdy chudé na živiny a odolné ke znečištění (organické polutanty, výskyt těžkých kovů, zasolení).

Cíle závěrečné práce jsou následující.

- Zmapovat biodiverzitu tramvajových kolejíšť České republiky.
- Vyhodnotit strukturu společenstev cévnatých rostlin, mechorostů a bezobratlých živočichů v prostoru a čase. Zaměřit se na dvě různé škály porovnávání, jednak maloškálová diverzita a její variabilita vzhledem k poloze úseku kolejíště ve městě a měřeným mikroklimatickým faktorům. Dále porovnání na velké škále (porovnání jednotlivých měst), rozdíly dané geografickou polohou měst, jejich velikostí a sociálním prostředím (udržovanost).

5. Základní metodika disertační práce

Výsledkem disertačního výzkumu budou dvě vědecké publikace. První z nich je „Flora tramvajových kolejíšť v ČR“, která se bude zabývat zmapováním flory tramvajových kolejíšť po celé ČR. Druhou je Biodiverzita tramvajových kolejíšť a její roční dynamika, jejíž metodiku bych v tomto příspěvku ráda přiblížila.

Pro sledování proměnlivosti bioty v tramvajových kolejíštích během roku bude vybráno pouze jediné město, hlavní město Praha. Jedná se totiž o dostatečně velké město na to, aby se zde vybraly úseky tratí s různými povrchy. Budou vybrány dva široce vymezené povrchy, u kterých se bude vyskytovat dostatečný počet opakování (2 x 15): (1) pevné povrchy s vegetací pouze v úzkých spárách (dlažební kostky, železobetonové bloky, popraskaný asfalt), (2) sypké povrchy (štěrk, písek, zemina). Vzhledem k potřebné bezpečnosti při

monitoringu kolejíšť budou vybírány jen méně frekventované úseky v místě dobře dostupných (především zastávky a točny).

Na každé zastávce bude vybrán úsek o šířce 1 m a délce 20 m. Průzkum bude prováděn každý měsíc od května do listopadu. Na každém úseku budou dokumentovány cévnaté rostliny, bezobratlí živočichové a mechorosty. Poznamenány budou také okolní biotopy (trávník, vysazené okrasné rostliny, stavby apod.), a to v rámci okruhu 30 m okolo kolejíšť. Rozloha jednotlivých okolních biotopů bude dodatečně upravena z mapových podkladů. Po celý čas průzkumu bude dbáno na bezpečí, tedy kontrolu provozu další osobou, a pro monitoring budou vybírány víkendové termíny, kdy je provoz tramvají omezen na delší intervaly. Na všech odběrových místech bude pořizována fotodokumentace.

Vybrané lokality:

Zastávka	povrch - syp/pe	povrch
Přístaviště	sypký	štěrk
Blatiny	sypký	vegetační pás
Brusnice	sypký	vegetační pás
Depo Hostivař	sypký	vegetační pás
Dlabačov	sypký	štěrk
Drinopol	sypký	vegetační pás
Hradčanská	sypký	vegetační pás
Lehovec	sypký	štěrk
Marjánka	sypký	vegetační pás
Ocelářská	sypký	vegetační pás
Olgy Scheinpflugové	sypký	vegetační pás
Slavia - nádraží Eden	sypký	vegetační pás
Spojovací	sypký	štěrk
Ústřední dílny DP	sypký	štěrk
Výstaviště	sypký	vegetační pás
Hlubočepy	pevný	kostky
Chaplinovo náměstí	pevný	kostky
Královka	pevný	asfalt
Nádraží Braník	pevný	kostky
Nádraží Hostivař	pevný	kostky
Radlická	pevný	kostky
Sídlíště Barrandov	pevný	kostky
Sídlíště Ďáblice	pevný	kostky
Sídlíště Řepy	pevný	kostky
Spořilov	pevný	kostky
Vltavská	pevný	kostky
Vozovna Kobylisy	pevný	kostky
Vozovna Pankrác	pevný	kostky
Vysočanská	pevný	kostky
Výstaviště	pevný	kostky

Obr. 4. Lokality pro terénní výzkum, Praha

Na sledovaných úsecích kolejového svršku budou monitorovány enviromentální proměnné pro možnost vysvětlení rozdílů ve společenstvech:

- teplota povrchu a teplota vzduchu nad kolejištěm (pomocí digitálního teploměru),
- vlhkost povrchu a vlhkost vzduchu nad kolejištěm (pomocí digitálního vlhkoměru),
- frekvence pojezdu tramvají, která bude zjištěna z jízdních řádů,
- okolní biotopy: zaznamenání okolního prostředí (městský sečený trávník, neudržovaná ruderalní travinobylinná vegetace, okrasné výsadby, plochy bez vegetace – chodníky, vozovky, stromy a keře, budova, vodní plocha; podílu těchto biotopů, bude zpřesněno následně z map).



Obr. 5. Terénní odběr mechorostů na zastávce Vysočanská, v Praze (autor fotografie: Mgr. Martin Jiroušek, Ph.D.)

6. Závěr

Cílem této disertační práce není jen monitoring a následné zpracování dat, ale také rozšíření povědomí o této zanedbané, ale přitom důležité problematice. Každé město by se mělo snažit o podporu biodiverzity, a tak i o zachování všech našich původních druhů. Zároveň by se nemělo zapomínat na problematiku invazních druhů a jejich šíření.

Tento výzkum bude také základem pro další projekty. Příkladem je projekt „Těžké kovy v kolejistích tramvají a možný přenos v potravním řetězci“, ve kterém by byla využita data a zkušenosti právě z výzkumu biodiverzity kolejíšť.

7. Použitá literatura

- [1] BRASCHLER, B.; DOLT, C.; BAUR B, 2020. B. The Function of A Set-Aside Railway Bridge in Connecting Urban Habitats for Animals: A Case Study. *Sustainability*, 12, 1194. <https://doi.org/10.3390/su12031194>
- [2] DŘEVOJAN P., ČEPLOVÁ N., ŠTĚPÁNKOVÁ P. & AXMANOVÁ I. 2022. Life form. – www.FloraVeg.EU
- [3] FISHER L. K., KOWARIK I. 2020. Connecting people to biodiversity in cities of tomorrow: Is urban foraging a powerful tool? *Ecological Indicators*. Volume 112. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106087>
- [4] KACZMARSKI, M., & KACZMAREK, J. M. 2016. Heavy traffic, low mortality - tram tracks as terrestrial habitat of newts. *Acta Herpetologica*, 11(2), 227–231. https://doi.org/10.13128/Acta_Herpetol-17922
- [5] RENDEKOVÁ, Alena, MIČIETA, Karol, HRABOVSKÝ, Michal, ZAHRADNÍKOVÁ, Eva, MICHALOVÁ, Martina, MIŠKOVIC, Ján, ELIÁŠOVÁ, Mariana and Dominika BALLOVÁ. Comparison of the differences in the composition of ruderal flora between conventional tram tracks and managed green tram tracks in the urban ecosystem of the city of Bratislava. *Hacquetia*. 2022, vol. 21, 73–88. <https://doi.org/10.2478/hacq-2021-0020>
- [6] RENDEKOVÁ, Alena, MIČIETA, Karol, RANDÁKOVÁ, Zuzana, BALLOVÁ, Dominika., ELIÁŠOVÁ, Mariana and Ján MIŠKOVIC. Flora of the tram tracks of Bratislava. *Urban Ecosystems*. 2020, vol. 23, 875–891. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-00952-0>
- [7] SUDNIK-WÓJCIKOWSKA, Barbara, GALERA, Halina. 2005. Floristic differences in some anthropogenic habitats in Warsaw. *Annales Botanici Fennici*, 42(3), 185–193. <http://www.jstor.org/stable/23727237>
- [8] SZALA Klaudia, KUBICKA Anna Maria, SPARKS Tim H., TRYJANOWSKI Piotr. 2020. Birds using tram tracks in Poznań (Poland): Species, infrastructure use and behaviour. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 81. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920919314452>
- [9] VEGA, K. A., SCHLÄPFER-MILLER, J., & KUEFFER, C. (2021). Discovering the wild side of urban plants through public engagement. *Plants, People, Planet*, 3(4), 389–401. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10191>
- [10] WIŁKOMIRSKI Bogusław, Halina GALERA, Barbara SUDNIK-WÓJCIKOWSKA, Tomasz Staszewski, Małgorzata SUSKA-MALAWSKA. 2012. Railway tracks – habitat conditions, contamination, floristic settlement –

- a review. Environ Nat Resour Res 1(2):86–95.
<https://doi.org/10.5539/enrr.v2n1p86>
- [11] WOŹNICA, Paulina, Andrzej URBISZ, Izabella FRANIEL a Alina URBISZ.
2016. Tram tracks as specific anthropogenic habitats for the growth of plants.
PeerJ. University of Silesia, Katowice, Poland. Dostupné z: doi:
10.7287/PEERJ.PREPRINTS.2606V1

Porovnání výsledků statické zatěžovací zkoušky podle české, francouzské a německé metodiky

Ing. Jiří Pospíšil¹, Ing. Leoš Horníček, Ph.D.²

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: leos.hornicek@fsv.cvut.cz

Abstrakt

Statická zatěžovací zkouška pro hodnocení deformační odolnosti pražcového podloží se z historických důvodů neprovádí ve všech zemích stejně, takže jejich výsledky nemohou být snadno porovnány. Tento příspěvek prezentuje experimentální studii, která porovnává vyhodnocené výsledky provedených statických zatěžovacích zkoušek podle české, francouzské a německé metodiky. Cílem studie bylo praktické porovnání a nalezení vzájemných vztahů mezi výsledky jednotlivých zkoušek dle zmiňovaných metodik. Výsledky jednotlivých zkoušek byly statisticky vyhodnoceny a byly nalezeny vzájemné korelace mezi jednotlivými metodikami. Výsledky studie mohou být použity pro adaptaci požadavků na deformační odolnost vysokorychlostních železničních tratí definovaných v zahraničních předpisech do českého prostředí.

Klíčová slova

Statická zatěžovací zkouška, modul přetvárnosti, deformační odolnost, pražcové podloží, vysokorychlostní železniční trať.

Comparison of Static Plate Load Test Results According to Czech, French and German Methodologies

Abstract

For historical reasons, the static plate load test for assessing the railway substructure deformation resistance is performed in a different way for different countries, so its results cannot be easily compared. This paper presents an experimental study that compares the evaluated results of performed static plate load tests according to Czech, French and German methodology. The aim of the study was a practical comparison and finding of mutual relations

between the results of individual tests according to the mentioned methodologies. The results of individual tests were statistically evaluated and mutual correlations between individual methodologies were found. The results of the study can be used to adapt the requirements for the deformation resistance of high-speed railway lines defined in foreign regulations to the Czech environment.

Keywords

Static plate load test, deformation modulus, deformation resistance, railway substructure, high-speed railway line.

1. Úvod

Statická zatěžovací zkouška (dále SZZ) je jednou ze základních metod pro stanovení deformační odolnosti železničního spodku. Hlavním výsledkem je modul přetvárnosti, jehož hodnota zjištěná při inženýrskogeologickém průzkumu je výchozí pro návrh a dimenzování konstrukce pražcového podloží [1].

Na základě „Programu rozvoje rychlých železničních spojení v České republice“ schváleném v roce 2017 probíhá příprava výstavby vysokorychlostních železničních tratí (dále VRT) podle principů převzatých z Francie [2]. Současně se připravuje společný přeshraniční úsek VRT mezi Českou republikou (dále ČR) a Německem [3]. Požadavky na deformační odolnost VRT v ČR však nemohou být jednoduše převzaty z francouzských a německých norem, neboť se v různých zemích používají pro provádění SZZ různé metodiky. Proto byla v letech 2021 až 2023 provedena experimentální studie, jejímž cílem bylo praktické porovnání jednotlivých metodik a nalezení vzájemných vztahů mezi jejich výsledky.

2. Statická zatěžovací zkouška

Principem SZZ je zatlačení kruhové kovové desky o stanoveném průměru do podloží při předepsaném statickém zatížení, zatímco je sledována deformace podloží. Na základě těchto hodnot je pak stanovena jeho deformační odolnost [1].

2.1. Statická zatěžovací zkouška podle české metodiky

V ČR se pro SZZ používá deska o průměru 300 mm. Průběh SZZ je popsán v předpisu SŽ S4 [1], příloze 5, a v normě ČSN 72 1006 [4], příloze B.

Zatížení je rozděleno do dvou zatěžovacích cyklů po čtyřech zatěžovacích a čtyřech odtěžovacích stupních, největší kontaktní napětí pod deskou je 0,20 MPa. V každém zatěžovacím a odtěžovacím stupni se odečte hodnota zatlačení desky do podloží.

Po provedení zkoušky se dle následující rovnice pro každý zatěžovací spočítá cyklus modul přetvárnosti E_i , $i \in \{1;2\}$, a to včetně jejich vzájemného poměru E_2/E_1 :

$$E_i = \frac{1,5 \cdot p \cdot r}{y_i}$$

kde je:

E_i	modul přetvárnosti z i -tého zatěžovacího cyklu [MPa],
p	největší kontaktní napětí pod deskou (0,20) [MPa],
r	poloměr zatěžovací desky (150) [mm],
y_i	rozdíl hodnot zatlačení desky po čtvrtém zatěžovacím stupni a před prvním zatěžovacím stupněm i -tého cyklu [mm].

2.2. Statická zatěžovací zkouška podle francouzské metodiky

Pro SZZ podle francouzské metodiky se používá deska o průměru 600 mm. Její průběh se řídí normou NF P 94-117-1 [5].

Deska je zatížena ve dvou zatěžovacích cyklech, které nejsou rozděleny na jednotlivé stupně. V prvním zatěžovacím cyklu dochází k postupnému zvyšování kontaktního napětí pod deskou od 0 do 0,25 MPa po dobu minimálně 30 sekund. Po odečtení hodnoty zatlačení desky do podloží je deska během maximálně 5 sekund odtížena na hodnotu kontaktního napětí pod deskou 0 MPa a po opětovném odečtení hodnoty zatlačení desky do podloží dochází stejnou rychlostí jako v prvním zatěžovacím cyklu k opětovnému zvyšování kontaktního napětí pod deskou, tentokrát pouze na hodnotu 0,20 MPa.

Po provedení zkoušky se vyhodnotí moduly EV_1 a EV_2 včetně jejich vzájemného poměru k :

$$EV_1 = \frac{112,5}{e_1}$$

$$EV_2 = \frac{90}{z_2}$$

$$k = \frac{EV_2}{EV_1}$$

kde je:

EV_1	modul přetvárnosti z prvního zatěžovacího cyklu [MPa],
EV_2	modul přetvárnosti z druhého zatěžovacího cyklu [MPa],
e_1	rozdíl hodnot zatlačení desky po a před prvním zatěžovacím cyklem [mm],
z_2	rozdíl hodnot zatlačení desky po a před druhým zatěžovacím cyklem [mm].

2.3. Statická zatěžovací zkouška podle německé metodiky

V Německu se pro SZZ používá deska o průměru 300 mm. Průběh SZZ se řídí normou DIN 18134 [6]. Obdobný postup, který se liší jen v několika formálních hlediscích (např. omezení maximálního zatlačení desky do podloží nebo požadavky na vzájemnou vzdálenost desky, protizátěže a měřicího nosníku při provádění SZZ), je popsán také v normě ČSN 72 1006 [4], příloze A, kterou se řídí SZZ na pozemních komunikacích v ČR.

Zatížení je rozděleno do dvou zatěžovacích cyklů po alespoň šesti zatěžovacích a alespoň třech odtěžovacích stupních. Největší kontaktní napětí pod deskou je v prvním zatěžovacím cyklu 0,50 MPa, zatímco ve druhém zatěžovacím cyklu je největší kontaktní napětí stejné jako v předposledním zatěžovacím stupni prvního zatěžovacího cyklu. V každém zatěžovacím a odtěžovacím stupni se odečte hodnota zatlačení desky do podloží.

Po provedení zkoušky se pro každý ze zatěžovacích cyklů metodou nejmenších čtverců určí koeficienty a_0 , a_1 a a_2 tak, aby hodnota zatlačení desky do podloží a hodnota kontaktního napětí pod deskou v každém zatěžovacím stupni odpovídala regresní rovnici daného zatěžovacího cyklu, přičemž hodnoty, kdy je zatlačení nulové, jsou z výpočtu vypuštěny:

$$s = a_0 + a_1 \cdot \sigma + a_2 \cdot \sigma^2$$

kde je:

s	zatlačení desky do podloží [mm],
σ	kontaktní napětí pod deskou [MPa],
a_0, a_1, a_2	parametry regresní rovnice zatěžovací křivky [mm, mm·MPa ⁻¹ , mm·MPa ⁻²].

Moduly přetvárnosti pro každý ze zatěžovacích cyklů se pak spočítají dle následující rovnice:

$$E_v = \frac{1,5 \cdot r}{a_1 + a_2 \cdot \sigma_{max}}$$

kde je:

E_v	modul přetvárnosti (E_{v1} , E_{v2}) [MPa],
σ_{max}	maximální kontaktní napětí pod deskou [MPa],
a_1, a_2	parametry regresní rovnice zatěžovací křivky [mm·MPa ⁻¹ , mm·MPa ⁻²].

2.4. Porovnání jednotlivých metodik

Zatímco v ČR a v Německu se pro SZZ používá kruhová zatěžovací deska o průměru 300 mm, ve Francii je to 600 mm. Kontaktní plocha desky o průměru 300 mm je 70 686 mm², desky o průměru 600 mm pak 282 743 mm², čtyřikrát více. Při SZZ podle české metodiky je největší kontaktní napětí pod deskou

0,20 MPa, při SZZ podle francouzské metodiky 0,25 MPa a při SZZ podle německé metodiky 0,50 MPa. To znamená, že při provádění SZZ podle německé metodiky je potřeba na desku vyvinout 2,5krát větší sílu než při provádění SZZ podle české metodiky a při provádění SZZ podle francouzské metodiky je tato síla větší dokonce pětkrát. Nároky na podmínky potřebné pro provedení SZZ, obzvláště na použitou protizátěž, tedy významně narůstají.

Při vyhodnocení SZZ podle české a francouzské metodiky vstupuje do výpočtu modulů přetvárnosti pouze rozdíl v zatlačení desky do podloží na konci a na začátku zatěžovacích cyklů. Výpočet je založen na Boussinesqově teorii pružného poloprostoru [5], [7]:

$$E = \frac{\pi}{4} (1 - \nu^2) \frac{p \cdot d}{z}$$

kde je:

E	modul přetvárnosti [MPa],
ν	Poissonovo číslo [-],
p	rozdíl mezi největším a nejmenším kontaktním napětím pod deskou [MPa],
d	průměr kruhové zatěžovací desky [mm],
z	rozdíl mezi hodnotami zatlačení desky při největším a nejmenším kontaktním napětí pod deskou [mm].

Zjednodušení rovnic pro výpočet modulů přetvárnosti pomocí konstanty 1,5, resp. 112,5, resp. 90, tedy odpovídá hodnotě Poissonova čísla $\nu = 0,212$. Při vyhodnocení SZZ podle německé metodiky však výpočet modulu přetvárnosti zahrnuje parametry a_1 a a_2 , které popisují průběh regresní křivky daného zatěžovacího cyklu. Hodnota modulu přetvárnosti tedy popisuje deformaci zkoušeného podloží v průběhu celého zatěžovacího cyklu.

3. Porovnávací měření

Za účelem získání porovnatelných výsledků SZZ bylo provedeno několik měřicích kampaní, čímž bylo získáno 22 trojic výsledků SZZ podle jednotlivých metodik provedených na různých materiálech. SZZ byly provedeny na zhutněných zkušebních vrstvách z kameniva různých frakcí v experimentálních podmínkách v prostředí kamenolomu (viz Obr. 1), na materiálu umístěném a zhutněném ve zkušebním boxu v laboratoři (viz Obr. 2) a na zemní pláni ze zemin zlepšených hydraulickými pojivy nebo na konstrukčních vrstvách z kameniva různých frakcí na reálných stavbách železničních tratí v ČR (viz Obr. 3).



Obr. 1. Měřicí kampaň v prostředí kamenolomu.



Obr. 2. Měřicí kampaň v laboratoři.



Obr. 3. Měřicí kampaň na reálné stavbě železniční trati v ČR.

4. Výsledky

Veškeré výsledky SZZ podle jednotlivých metodik jsou uvedeny v Tab. 1, včetně informace o zkoušeném materiálu. Pro zjednodušení jsou uvedeny pouze výsledky modulu přetvárnosti z druhého zatěžovacího cyklu. Zkratka „ŠD“ je označením pro šterkodrť a je vždy následována uvedením její frakce, obdobně jako zkratka „DK“ pro drcené kamenivo. Zkratka „ZZ“ je označením pro zeminu zlepšenou hydraulickými pojivy a zkratka „SŠDRAS“ je označením pro směs ŠD 0/32 a recyklované asfaltové směsi, která není běžně používaným materiálem a byla současně zkoušena pro jiné výzkumné účely.

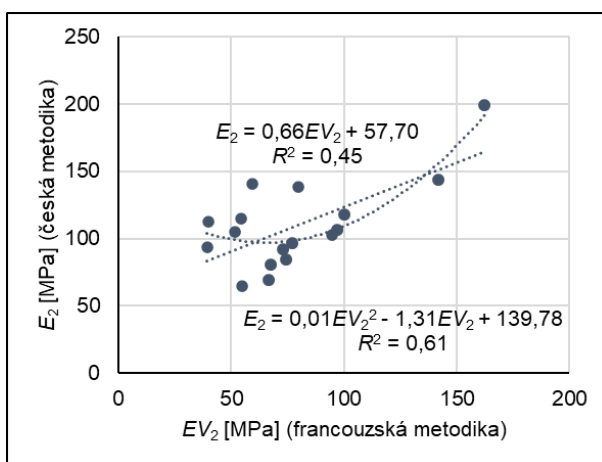
Tab. 1. Výsledky SZZ podle jednotlivých metodik.

Č.	Materiál	Modul přetvárnosti z druhého zatěžovacího cyklu [MPa]		
		E_2 (česká metodika)	EV_2 (francouzská metodika)	E_{v2} (německá metodika)
1	ŠD 0/32	91,8	73,2	78,5
2	ŠD 0/63	68,5	66,7	70,9
3	ŠD 0/32	96,4	77,1	104,5
4	ŠD 0/63	106,3	97,1	149,2
5	DK 0/125	198,5	162,7	205,8
6	ŠD 0/63	143,6	142,1	207,7
7	ŠD 0/32	117,4	100,4	114,8
8	ZZ	264,7	92,5	168,5
9	ŠD 0/63	84,4	74,8	136,7
10	ŠD 0/63	80,4	67,7	83,7
11	ZZ	64,9	54,8	96,4
12	SŠDRAS	33,1	49,2	38,2
13	ZZ	204,5	50,8	114,3
14	ZZ	140,7	59,6	179,3
15	ZZ	138,5	79,9	162,5
16	ZZ	112,5	39,9	171,6
17	ZZ	200,0	82,3	228,9
18	ŠD 0/32	114,5	54,3	88,0
19	ŠD 0/32	93,8	39,3	73,3
20	ŠD 0/32	102,3	94,7	95,1
21	ŠD 0/32	104,6	51,6	64,6
22	ŠD 0/32	160,7	84,6	112,8

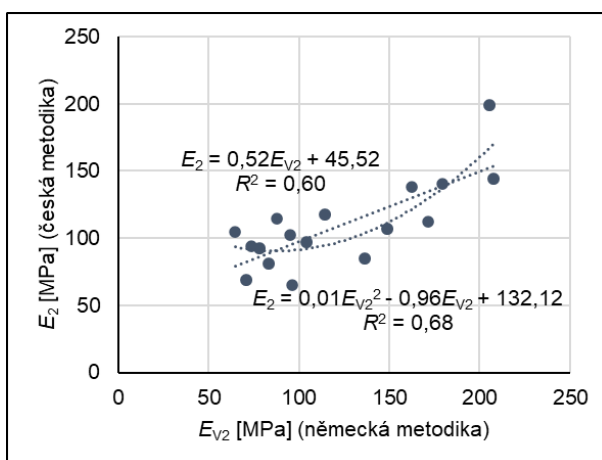
Celkem 5 trojic výsledků SZZ (22,7 %) je uvedeno *kurzívou* (č. 8, 12, 13, 17 a 22). V těchto případech byla zaznamenána nehomogenita materiálu podloží, tzn. že každá ze SZZ byla provedena v poněkud odlišných podmínkách (v jiné poloze umístění zatěžovací desky) a výsledky tak nemohly být dobře porovnány. V případech č. 8, 13 a 17 byly SZZ provedeny na zemní pláni ze

zlepšené zeminy, kdy se po smíchání zeminy s pojivem v části zkoušeného podloží pravděpodobně vytvořil hubený beton a výsledek jedné z trojice SZZ je tak nepřiměřeně vysoký. V případě č. 12 se jedná o směs ŠD 0/32 a recyklované asfaltové směsi, která není běžně používaným materiálem. V případě č. 22 se jedná o vrstvu ŠD 0/32 tloušťky 0,20 m položené na zemní pláni ze zlepšené zeminy. Na výsledcích SZZ se tak kromě nerovnoměrného rozložení zrn kameniva pod zatěžovací deskou projevila také nehomogenita materiálu zemní pláně.

Porovnání zbylých 17 trojic výsledků SZZ bylo provedeno jejich vykreslením do grafů a vyhodnocením regresních rovnic a jejich koeficientů determinace R^2 metodou nejmenších čtverců. Regresní rovnice byly vyhodnoceny jako lineární a polynommické druhého stupně. Porovnání je uvedeno na Obr. 4 a Obr. 5.



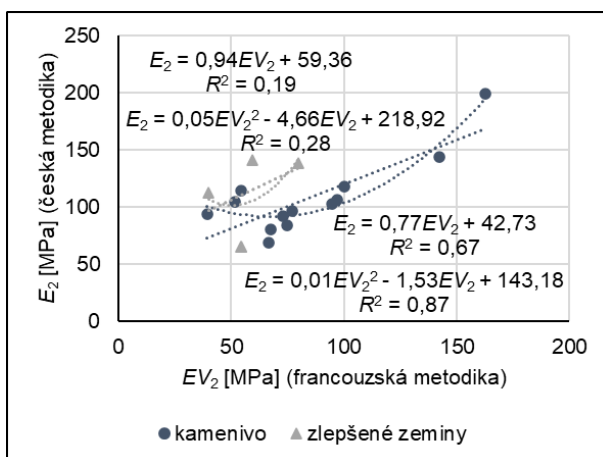
Obr. 4. Graf závislosti modulů E_2 (česká metodika) a EV_2 (francouzská metodika).



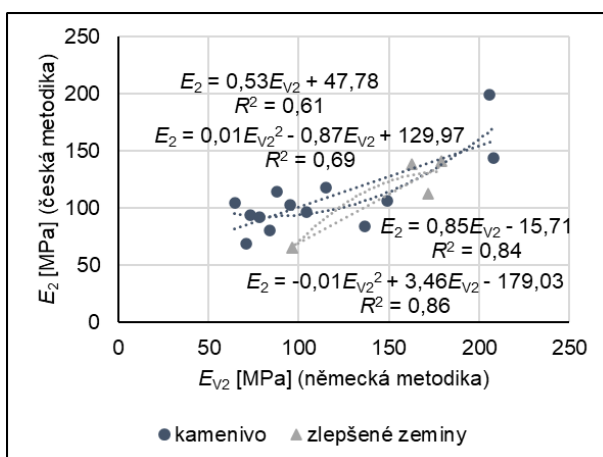
Obr. 5. Graf závislosti modulů E_2 (česká metodika) a EV_2 (německá metodika).

Z grafů na Obr. 4 a Obr. 5 je patrné, že je závislost výsledků SZZ podle jednotlivých metodik spíše polynomická než lineární (vyšší hodnoty koeficientu determinace R^2). Na druhou stranu jsou však všechny konstanty A polynomické regresní rovnice ve tvaru $y = Ax^2 + Bx + C$ blízké 0 a hodnoty koeficientu determinace stále nedosahují hodnot alespoň 0,9.

Pro zpřesnění regresních rovnic a zvýšení hodnot koeficientu determinace R^2 bylo porovnání výsledků SZZ provedeno také s ohledem na materiál zkoušeného podloží. Podle [8] se předpokládalo, že pro různé materiály se bude trend vyvíjet různě. Grafy na Obr. 6 a Obr. 7 zobrazují porovnání výsledků s rozdělením do skupin kameniva a zlepšených zemin.



Obr. 6. Graf závislosti modulů E_2 (česká metodika) a EV_2 (francouzská metodika) s ohledem na materiál zkoušeného podloží.

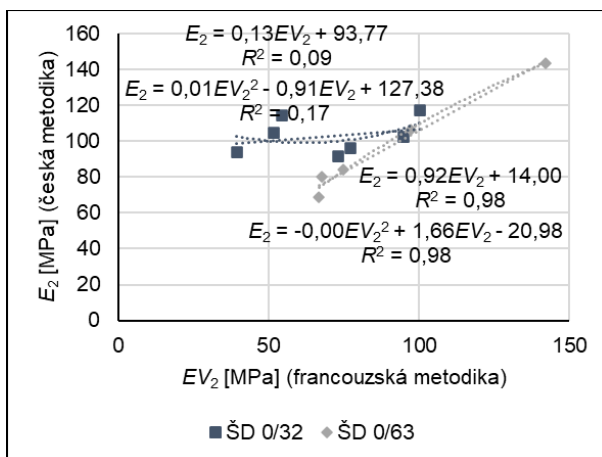


Obr. 7. Graf závislosti modulů E_2 (česká metodika) a EV_2 (německá metodika) s ohledem na materiál zkoušeného podloží.

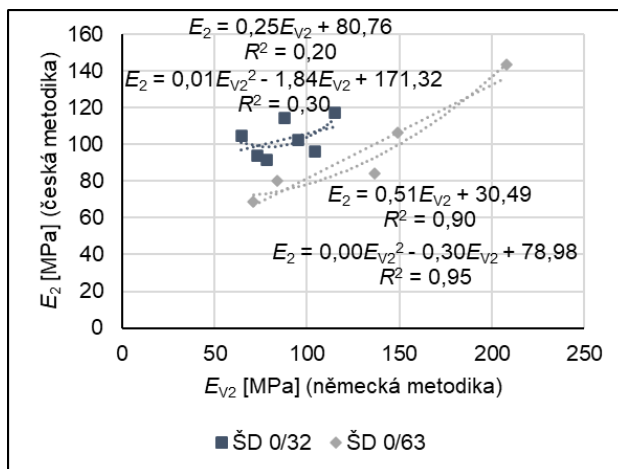
Z Obr. 6 je patrné, že kamenivo dosahuje oproti zlepšeným zeminám významně lepší korelace výsledků SZZ podle české a francouzské metodiky.

To potvrzuje skutečnost, že je zemina po smíchání s pojivem nehomogenní materiál, a proto nemohou být výsledky SZZ podle jednotlivých metodik dobře porovnávány. Na druhou stranu je pro porovnání výsledků SZZ podle české a německé metodiky na Obr. 7 korelace lepší pro zlepšené zeminy. Parabola má však konkávní tvar, což se liší od dalších trendů na jiných grafech, a hodnoty koeficientu determinace R^2 mohou být také ovlivněny malým počtem výsledků (13 SZZ provedených na kamenivu oproti pouze 4 SZZ provedeným na zlepšených zeminách).

Vzhledem k lepší korelaci výsledků SZZ provedených na kamenivu bylo jejich porovnání provedeno také s ohledem na jeho frakci. To je zobrazeno v grafech na Obr. 8 a Obr. 9.



Obr. 8. Graf závislosti modulů E_2 (česká metodika) a EV_2 (francouzská metodika) s ohledem na frakci kameniva.



Obr. 9. Graf závislosti modulů E_2 (česká metodika) a E_{V2} (německá metodika) s ohledem na frakci kameniva.

Z hodnot koeficientu determinace R^2 na Obr. 8 a Obr. 9 je patrná významně lepší korelace výsledků SZZ provedených na vrstvě z ŠD 0/63 než na vrstvě z ŠD 0/32. Přítomnost větších zrn tedy zjevně pozitivně ovlivňuje přesnost výsledku SZZ.

5. Diskuse

Ze studie plyne, že trend korelace výsledků SZZ podle jednotlivých metodik závisí na konstrukci a materiálu zkoušeného podloží. Podobné závěry přináší také dřívější studie porovnávající výsledky SZZ podle české a německé metodiky, kdy pro různé materiály byly nalezeny různé korelace [8], nebo studie porovnávající výsledky SZZ podle slovenské a německé metodiky, kdy byly různé korelace nalezeny pro různé tloušťky konstrukční vrstvy položené na identickém podloží [9]. Současně jsou pro různé materiály stanoveny různé hodnoty koeficientu determinace R^2 , což vypovídá o jejich homogenitě.

Regresní rovnice byly vyhodnoceny jako lineární a polynomicke druhého stupně. Závislost výsledků SZZ podle jednotlivých metodik se kvůli vyšším hodnotám koeficientu determinace R^2 ukázala být spíše polynomicke, i když konstanty A polynomicke regresní rovnice ve tvaru $y = Ax^2 + Bx + C$ jsou blízké 0. Tuto skutečnost potvrzuje také porovnání většího množství výsledků SZZ podle slovenské a německé metodiky [9]. Tyto rovnice však byly stanoveny pro omezený definiční obor a pro extrémně nízké nebo vysoké hodnoty výsledků SZZ nemusí být odpovídající.

6. Závěr

Cílem provedené experimentální studie bylo praktické porovnání a nalezení vzájemných vztahů mezi výsledky SZZ podle české, francouzské a německé metodiky za účelem adaptace požadavků na deformační odolnost pražcového podloží VRT stanovených v zahraničních předpisech do českého prostředí. Byla provedena série měřicích kampaní a po vypuštění nedůvěryhodných hodnot byly na základě zbylých dat stanoveny regresní rovnice a jejich koeficienty determinace R^2 . Z výsledků studie plynou tyto závěry:

- korelace výsledků SZZ podle jednotlivých metodik závisí na konstrukci a materiálu zkoušeného podloží,
- korelace výsledků SZZ vyšla lepší pro kamenivo než pro zlepšené zeminy, u nichž se po smíchání s pojivem projevuje vyšší míra nehomogenity,
- korelace výsledků SZZ na šterkodrtích vyšla lepší pro ŠD 0/63 než pro ŠD 0/32.

Literatura

- [1] SŽ S4. *Železniční spodek*. Ve znění změny č. 1. Praha: Správa železnic, s. o., 2024.
- [2] Ministry of Transport of the Czech Republic [online]. *Rapid Services Development Programme in the Czech Republic*. 2017. [vid.2024-03-26]. <https://www.mdcz.cz/getattachment/Dokumenty/Strategie/Vysokorychlostni-trate/Rapid-services-development-programme-in-Czech-republic.pdf.aspx>
- [3] *Dresden – Praha. New line. Fast connections*. [online]. DB InfraGO AG, 2023. [vid. 2024-03-26]. <https://www.dresden-praha.eu/en>
- [4] ČSN 72 1006. *Kontrola zhutnění zemin a sypanin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [5] NF P 94-117-1. *Sols: reconnaissance et essais – Portance des plates-formes – Partie 1: Module sous chargement statique à la plaque (EV2)*. Saint-Denis: AFNOR, 2000.
- [6] DIN 18134. *Baugrund – Versuche und Versuchsgesetze – Plattendruckversuch*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V., 2012.
- [7] BOUSSINESQ Joseph. *Application des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques*. Paris: Gauthier-Villars, 1885.
- [8] LIDMILA Martin, HORNÍČEK Leoš, KREJČIŘÍKOVÁ Hana, TYC Petr. Problems in Different Measuring and Assessment the Modulus of Deformation Using the Czech and German Methodologies. In: *Acta Polytechnica* [online]. March 2006, 46 (3), pp. 52-56. [vid. 2023-12-13]. ISSN 1210-2709. <https://doi.org/10.14311/834>
- [9] IŽVOLT Libor, DOBEŠ Peter, PAPÁN Daniel, MEČÁR Martin. Static Modulus of Deformation of Uncemented Layers of the Railway Substructure – Comparison of Values and Determination of Correlation Dependence According to the Test Procedure of the Slovak Railways and Deutsche Bahn A.G. In: *Buildings* [online]. 2023, 13 (8). [vid. 2023-12-13]. ISSN 2075-5309. <https://doi.org/10.3390/buildings13082016>

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za podpory projektu č. CK02000293 podpořeného Technologickou agenturou ČR a Ministerstvem dopravy v rámci programu Doprava 2020+.

Výzkum snížení následků nehod tramvají s osobními automobily

Ing. Jakub Seidl, Ph.D.¹

Fakulta strojní ČVUT v Praze

Technická 4, 166 00, Praha 6 - Dejvice

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

Abstrakt

Tento článek shrnuje výsledky výzkumu návrhu úpravy čel tramvají pro snížení následků nehod tramvají s auty, který byl prováděn na FS ČVUT v Praze. První kapitola článku vysvětluje problematiku nehodovosti tramvají s auty a shrnuje dílčí závěry provedeného výzkumu. Druhá část článku je věnována analýze parametrů deformačních prvků tramvají na následky nehod na autech a popisuje možné konstrukční řešení čel tramvaje pro snížení následků nehod s auty.

Klíčová slova

Auto, EN 15227, kompatibilita vozidel, nehoda, tramvaj.

Research on reducing the consequences of accidents between trams and cars

Abstract

This article summarizes the results of research on the design of tram fronts modifications to reduce the consequences of accidents between trams and cars, which was carried out at the Faculty of Engineering of the CTU in Prague. The first chapter of the article explains the topic of accidents between trams and cars and summarizes partial conclusions of the research. The second part of the article is devoted to the analysis of the deformation parameters of trams on the consequences of accidents with cars and describes possible design solutions of the tram front to reduce the consequences of accidents with cars.

Keywords

Accident, car, EN 15227, vehicle compatibility, tram.

1. Úvod

Moderní tramvajová doprava, zajišťována v dnešní době především částečně nebo plně nízkopodlažními vozidly, patří k jednomu ze základních pilířů městské hromadné dopravy každého moderního města s počtem obyvatel nad 100 tisíc. Tramvajová doprava je nejčastěji využívána k přepravě velkého počtu cestujících z odlehlejších částí města do jeho centra. Z důvodu historické zástavby většiny evropských měst není možné vést tramvajovou dopravu po samostatném tělese odděleném od ostatních účastníků silničního provozu a tím zcela eliminovat riziko vzniku dopravních nehod. [1]

Z důvodu potřeby změny směru jízdy dochází ke křížení tramvajových kolejí s jízdními pruhy ostatních účastníků silničního provozu. Každé toto křížení zvyšuje riziko vzniku dopravní nehody tramvajů s osobními automobily (dále jen auty). Každá dopravní nehoda tramvaje s autem je velký zásah do plynulosti přepravy cestujících. Následkem nehod dochází k dočasnému lokálnímu ochromení tramvajového systému, jelikož vozidla musí zůstat na místě nehody, dokud nedojde k zaznamenání nehody pracovníky dopravních podniků a dání povolení k odklizení nehody pracovníky Drážní inspekce. Po celou dobu odklizení následků nehod je daný úsek tramvajové trati neprůjezdný, což vede ke zpoždění ostatních tramvajových spojů, nutnosti zavádět objížděné trasy a nelibosti cestujících. [1]

Dopravní nehody jsou nejčastěji způsobeny lidskou chybou. Bohužel je v silniční dopravě často za tyto chyby placeno cennou nejvyšší, a to zdravím nebo životem. Podle vyhodnocení statistiky nehodovosti tramvajů s auty za roky 2016 až 2018 na území České republiky došlo při 17% čelních a 7% čelněbočních nehod tramvajů s auty ke zranění řidičů aut. Mimo vyhodnocované období došlo v Ostravě ke smrtelné nehodě řidiče auta BMW s tramvají Stadler Tango NF2.



Obr. 1. Smrtelná nehoda tramvaje s autem,
zdroj: tydenikpolicie.cz.

Návrh nově konstruovaných vozidel musí být tedy prováděn s vědomím, že lidé dělají chyby a přes zavedení dokonalejších prvků aktivní bezpečnosti nelze s absolutní jistotou zabránit vzniku dopravních nehod. Nově konstruovaná vozidla proto musí být vybavována dokonalejšími prvky pasivní bezpečnosti, které povedou ke zmírnění následků vzniklých nehod. Tato představa vychází z hlavní myšlenky programu Vize 0, který byl představen v roce 1995 ve Švédsku. Základním cílem programu Vize 0 je vytvořit a přijmout taková opatření dopravního systému i na vozidlech, aby do roku 2050 nedocházelo k úmrtím a aby bylo minimalizováno riziko vzniku těžkých zranění následkem dopravních nehod. [1], [2]

Pro zvýšení pasivní bezpečnosti nově konstruovaných kolejových vozidel byla v roce 2008 vydána první verze normy EN 15227. Cílem normy EN 15227 je snížení následků nehod na cestující a posádky uvnitř kolejových vozidel. Hodnocení následků nehod na kolizní vozidla není normou EN 15227 definováno. Pro plnění požadavků normy EN 15227 jsou tramvaje na obou čelech vybavovány deformačními prvky, viz obrázky Obr. 2 a Obr. 3. Deformační prvky slouží k absorpci deformační energie při kolizích tramvají s jiným vozidlem, a proto jsou prvním prvkem tramvaje, který při nehodě přichází do styku s kolizním vozidlem. Parametry deformačních prvků mají na následky nehod tramvají s kolizními vozidly zásadní vliv. [3]

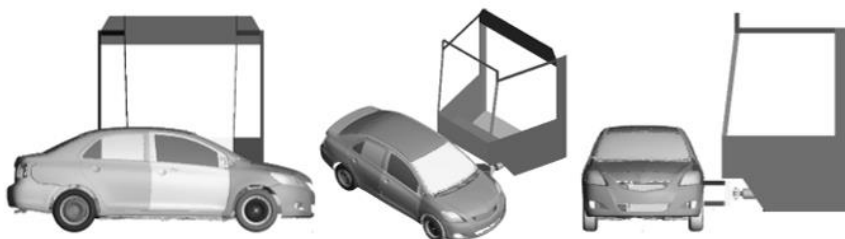


Obr. 2. Nárazník tramvaje,
zdroj: vladan.foto.cz.



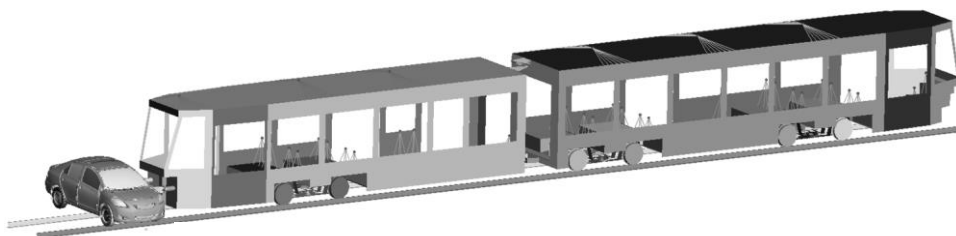
Obr. 3. Crush box tramvaje,
zdroj: behance.net/gallery.

Pro možnost posouzení vlivu vybavení tramvají deformačními prvky na následky nehod na autech byly vytvořeny zjednodušené simulační modely nehod tramvají s autem. Tvorba simulačních modelů je detailně popsána v publikaci [1]. Dvě zvolené tramvaje byly vybaveny deformačními prvky podle požadavků normy EN 15227 a třetí nebyla. Z provedených simulací jednoznačně vyplynulo, že vybavení tramvají deformačními prvky může mít negativní vliv na následky nehod tramvají s auty. Vliv je značně ovlivněn různými parametry deformačních prvků.



Obr. 4. Zjednodušený simulační model nehody tramvaje s autem.

Pro možnost posouzení vlivu jednotlivých parametrů deformačních prvků tramvají na následky nehod tramvají s auty byl vytvořen komplexní simulační model nehody tramvaje s autem. Model byl vytvořen podle volně dostupných podkladů na internetu a zkušeností pracovníků ú12120 na fakultě strojní ČVUT v Praze s ohledem na co největší přesnost reprezentace reálné nehody tramvaje do boku auta, které stojí kolmo přes tramvajový pás. Simulační model byl vytvořen ze submodelů tramvaje, řidiče a auta. Tvorba simulačního modelu je detailně popsána v publikacích [4] a [5].



Obr. 5. Simulační model nehody tramvaje s autem.

Tento článek se zabývá vyhodnocením vlivu jednotlivých parametrů deformačních prvků tramvají na následky nehod s auty. Publikovaný výzkum shrnuje závěry víceletého výzkumného grantu, zkoumajícího snížení následků nehod tramvají s auty, který byl prováděn na fakultě strojní ČVUT v Praze.

2. Analýza vlivu parametrů deformačních prvků tramvají na následky nehod na auta

Z provedené rešerše problematiky nehodovosti vozidel [6] bylo stanoveno, že snížení následků nehod tramvají s auty může být dosaženo aplikací poznatků z oblasti kompatibility tuhostí a geometrie silničních vozidel při nehodě na parametry deformačních prvků tramvají.

Pro analýzu byly zvoleny tyto parametry deformačních prvků:

- charakteristika tuhosti deformačních prvků,
- výšková pozice deformačních prvků nad rovinou TK,
- rozměry deformačních prvků.

Všechny simulace uvedené v této kapitole byly provedeny při úvaze počáteční rychlosti tramvaje 25 km/h. Výsledky jednotlivých simulací byly porovnány vůči výsledkům nominální konstrukce čela tramvaje. V každé provedené simulaci byla uvažována pouze změna jednoho parametru, aby bylo možné stanovit citlivostní analýzu vlivu jednotlivých parametrů na následky nehod tramvají s auty. Následky nehod na zdraví řidiče auta byly vyhodnoceny podle biomechanického kritéria člověka 3ms.

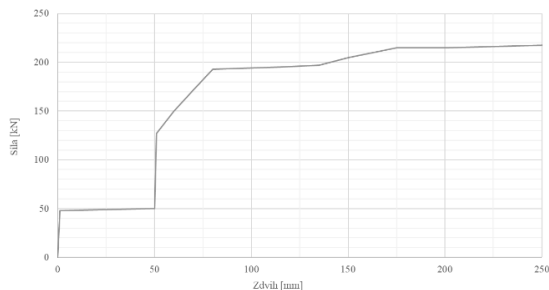
2.1. Biomechanické kritérium člověka 3ms

Biomechanická kritéria člověka byla zavedena pro hodnocení následků nehod na cestující uvnitř aut. Biomechanická kritéria člověka definují vztahy mezi fyzikálními veličinami a pravděpodobností vzniku zranění pasažérů. Při schvalování nových vozidel musí být naměřené hodnoty biomechanických kritérií menší než stanovené limitní hodnoty. [7]

Z používaných kritérií organizací Euro NCAP pro hodnocení bezpečnosti při bočních nárazech byla pro hodnocení následků nehod zvoleno biomechanické kritérium hlavy 3 ms. Toto kritérium vyhodnocuje velikost zrychlení hlavy řidiče v závislosti na čase. Podle požadavků organizace Euro NCAP nesmí být zrychlení hlavy řidiče po dobu 3 ms větší než 72g. [8]

2.2. Charakteristika tuhosti deformačních prvků

Poznatky z kompatibility tuhostí byly aplikovány na charakteristiku deformačních prvků tramvaje. Při snaze zvýšit kompatibilitu tuhostí vozidel při nehodě bylo však stále nutné zachovat bezpečnost tramvaje při nehodě s jinou tramvají podle požadavků normy EN 15227. Jako vhodné řešení bylo navrženo



umístit měkčí absorpční prvky před nárazník a zachování zbylého průběhu charakteristiky. Při nehodě tak bude energie absorbována oběma vozidly a ne pouze lehčím vozidlem. Ukázka uvažované deformační charakteristiky je znázorněna na obrázku Obr. 6.

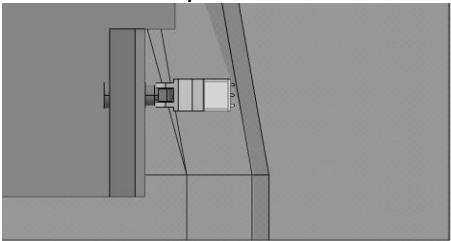
Obr. 6. Uvažovaná charakteristika deformačních prvků. Simulace nárazu byly provedeny pro každou tuhost změkčené charakteristiky deformačních prvků. Výsledky biomechanického kritéria člověka 3 ms pro jednotlivé tuhosti jsou uvedeny v tabulce Tab. 1.

Tab. 1. Vyhodnocení biomechanického kritéria 3ms pro jednotlivé tuhosti.

Tuhost deformačních prvků [kN/mm]	Biomechanické kritérium člověka 3 ms		
	Hodnota kritéria [-]	Hodnota kritéria [%]	Doba překročení limitní hodnoty [ms]
12,5	99,0	91,2	5,5
25,0	96,6	88,9	5,3
37,5	81,8	75,3	4,2
50,0	84,7	78,0	4,5
62,5	98,5	90,7	5,4
75,0	100,8	92,8	5,5
87,5	106,5	98,0	6,0
100,0	107,3	98,8	6,1
112,5	107,9	99,4	6,1
125,0	108,6	100,0	6,1

2.3. Vliv výškové pozice deformačních prvků nad rovinou TK

Poznatky z oblasti kompatibility geometrie vozidel byly aplikovány na pozici deformačních prvků nad rovinou TK. Maximální výškové pozice nárazníků nově



konstruovaných tramvají jsou omezeny pouze dovoleným obrysem pro tramvaj, viz norma [9], a požadavkem na tvar čela s ohledem na bezpečnost chodců při nehodě s tramvají, viz technická zpráva [10]. Návrh parametrů nárazníků je jinak zcela v kompetenci výrobce tramvaje.

Obr. 7. Kontrola přesahu obrysu. Ze znalosti limitních křivek podle obou uvedených norem byly stanoveny maximální dovolené zástavbové prostory čela tramvaje, a tedy i výškové pozice

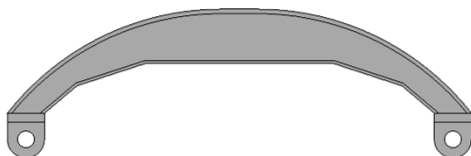
deformačních prvků. Ukázka kontroly přesahu obrysu tramvaje nárazníkem je znázorněna na obrázku Obr. 7. Výsledky biomechanického kritéria 3 ms pro jednotlivé výškové pozice deformačních prvků jsou uvedeny v tabulce Tab. 2.

Tab. 2. Vyhodnocení biomechanického kritéria 3ms pro jednotlivé výškové pozice.

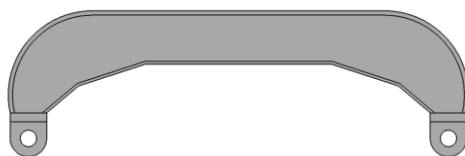
Výšková pozice nad rovinou TK [mm]	Biomechanické kritérium člověka 3 ms		
	Hodnota kritéria [-]	Hodnota kritéria [%]	Doba překročení limitní hodnoty [ms]
400	44,9	41,4	0,0
450	48,3	44,5	0,0
500	57,8	53,2	0,0
550	73,8	67,9	0,7
600	78,8	72,6	1,2
650	89,4	82,3	3,9
700	100,9	93,0	4,5
750	104,4	96,1	5,5
775	108,6	100,0	6,1
800	114,4	105,3	6,3
850	116,4	107,1	6,9
900	120,1	110,6	7,3

2.4. Vliv šířky kontaktní plochy nárazníku

Poznatky z oblasti kompatibility geometrie vozidel byly aplikovány také na rozměry kontaktní plochy nárazníku. Analyzovaný parametr byla šířka kontaktní (rovné) plochy nárazníku.



Obr. 8. Šířka nárazníku 100 mm.



Obr. 9. Šířka nárazníku 800 mm.

Limitní rozměry nárazníku byly stanoveny podle limitních křivek pro obrys vozidla, které byly popsány v kapitole 2.2. Výsledky biomechanického kritéria 3 ms pro jednotlivé šířky nárazníku jsou uvedeny v tabulce Tab. 3.

Tab. 3. Vyhodnocení biomechanického kritéria 3ms pro jednotlivé šířky nárazníku.

Šířka nárazníku [mm]	Biomechanické kritérium člověka 3 ms		
	Hodnota kritéria [-]	Hodnota kritéria [%]	Doba překročení limitní hodnoty [ms]
0	131,4	121,0	7,7
100	119,2	109,7	7,7
200	113,1	104,1	6,7
300	108,6	100,0	6,1
400	106,3	97,9	5,5
500	104,2	96,0	5,3
600	93,1	85,7	3,4
700	82,1	75,6	2,5
800	65,1	59,9	0,0
900	60,9	56,1	0,0
1 000	57,6	53,0	0,0

2.5. Kombinace analyzovaných parametrů

Analýza vlivu jednotlivých parametrů deformačních prvků na následky nehod tramvají s auty jednoznačně prokázala, že optimalizací parametrů deformačních prvků lze výrazně ovlivnit následky nehod tramvají s auty a tím výrazně snížit riziko vzniku zranění cestujících v autech.

Pro možnost posouzení vlivu jednotlivých parametrů mezi sebou byly definovány tři různé kombinace analyzovaných parametrů. Hodnoty jednotlivých parametrů v analyzovaných kombinacích byly zvoleny podle nejlepších dosažených výsledků jednotlivých parametrů.

Tab. 4. Uvažované kombinace parametrů deformačních prvků.

Parametr	Charakteristika deformačních prvků [kN/mm]	Svislá pozice nárazníku nad TK [mm]	Šířka nárazníku [mm]
Kombinace 0	125,0	775	300
Kombinace 1	125,0	400	300
Kombinace 2	125,0	400	1 000
Kombinace 3	50,0	400	300

S těmito kombinacemi byly provedeny simulace nárazu tramvaje do boku auta pro kolizní rychlosti 25, 30, 35 a 40 km/h. Vyhodnocení biomechanického kritéria 3 ms pro jednotlivé kombinace a rychlosti jsou uvedeny v tabulce Tab. 5.

Tab. 5. Uvažované kombinace parametrů deformačních prvků.

Rychlost tramvaje [km/h]	Kombinace 0	Kombinace 1	Kombinace 2	Kombinace 3
25	108,6/6,1	49,3/0,0	47,5/0,0	41,5/0,0
30	-	64,8/0,0	62,7/0,0	59,3/0,0
35	-	77,9/1,5	77,3/1,5	71,9/0,0
40	-	95,1/4,1	94,8/3,9	91,1/3,8

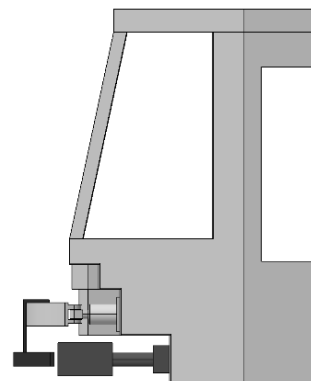
3. Závěr

Výzkumem bylo prokázáno, že následky nehod tramvají s auty lze zásadně ovlivnit volbou parametrů deformačních prvků tramvají. Pro všechny analyzované kombinace zkoumaných parametrů došlo k navýšení kritické rychlosti nárazu z 25 km/h na 40 km/h.

Konstrukční řešení deformačních prvků pro kombinace 2 a 3 by bylo značně komplikované a vedlo by k výraznému nárůstu pořizovací ceny tramvaje. Z tohoto důvodu nejsou kombinace 2 a 3 vhodné pro aplikaci do praxe. Jako nejvhodnější se jeví kombinace 1, tedy změna výškové polohy kontaktního bodu mezi autem a tramvají.

Pro následky nehod je tedy zásadní pozice kontaktního bodu mezi vozidly, tedy nemusí se jednat přímo o současně používané deformační prvky tramvají. Jako možné konstrukční řešení se jeví umístění menšího přídatného nárazníku do definované pozice nad TK, viz obrázek Obr. 10.

Aplikace poznatků popsaných v publikovaném výzkumu na nově konstruované tramvaje může vést k výraznému snížení rizika poranění posádek aut při nehodě s tramvajemi, a tím ke splnění cílů Vize 0.



Obr. 10. Návrh konstrukčního řešení.

Literatura

- [1] Jakub Seidl. The influence of the construction of tram fronts on the consequences of accidents with passenger cars. Sborník konference Moderní železnice, Fakulta dopravní ČVUT, Praha, Česká republika, 2022. Publikace byla v čase citace v recenzním řízení.
- [2] Hans von Holst; Ake Nygren; Roland Thord. Transportation, Traffic Safety and Health. ISBN 978-3-662-03409-5, SpringerVerlag GmbH, Berlín, Německo, 1997.
- [3] Český normalizační institut. ČSN EN 15227, Železniční aplikace – Požadavky na kolizní odolnost kolejových vozidel. Česká technická norma, Praha, Česká republika, 2021.
- [4] Jakub Seidl. Výzkum snížení následků nehod tramvají s auty. Sborník XXVI. Mezinárodní konference: Súčasný problémy v koľajových vozidlech, s. 235-242, ISBN 978-80-89276-61-5, VTS při ŽU, Žilina, Slovenská republika, 2023.
- [5] Jakub Seidl. Analýza parametrů deformačních prvků tramvají na následky nehod s auty. Sborník studentské konference ŽELVA 2023, ISBN 978-80-01-07244-8, Fakulta stavební ČVUT, Praha, Česká republika, 2023.

- [6] Jakub Seidl. *Kompatibilita tramvají při nehodě s osobními automobily*. Sborník studentské konference ŽELVA 2021, s. 62-69, ISBN 978-80-01-06881-6, Fakulta stavební ČVUT, Praha, Česká republika, 2021.
- [7] Lukáš Čapek; Petr Hájek; Petr Henyš a kolektiv. *Biomechanika člověka*. ISBN 978-80-271-0367-6, Grada Publishing a.s., Praha, Česká republika, 2018.
- [8] Euro NCAP. *Assessment protocol - AOP v9.1.3*. Dostupné online: cdn.euroncap.com (přístup 15. srpna 2022).
- [9] Český normalizační institut. ČSN 28 0318: *Průjezdové průřezy tramvajových tratí a obrysy pro vozidla provozovaná na tramvajových drahách*. Česká technická norma, Praha, Česká republika, 2015.
- [10] European committee for standardization. CEN/TR 17420, *Railway applications – Vehicle end design for trams and light rail vehicles with respect to pedestrian safety*. Technické doporučení, Brusel, Belgie, 2020.

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za podpory studentské grantové soutěže projektu SGS23/161/OHK2/3T/12.

Optimalizace algoritmu aktivního natáčení dvojkolí kloubové tramvaje v obloucích s velmi malými poloměry

Ing. Jan Vrba¹

Fakulta strojní ČVUT v Praze

Technická 4, 166 07 Praha 6 - Dejvice

e-mail_1: vrba@fs.cvut.cz

Abstrakt

Článek představuje výzkum využití aktivních prvků v podvozku moderní nízkopodlažní kloubové tramvaje, který je prováděn na Fakultě strojní ČVUT v Praze. Čtenář je stručně seznámen s problematikou technologie aktivního řízení dvojkolí v kolejových vozidlech a následně s navrženou koncepcí přístupu k řízení aktivních prvků v podvozku moderní kloubové tramvaje s neotočnými podvozky a jejím MBS modelem. Článek se věnuje optimalizaci algoritmu pro řízení natáčení dvojkolí do oblouků s velmi malými poloměry bez přechodnic. Takovéto oblouky se na tramvajových tratích vyskytují zejména v centrech měst na křižovatkách. Průjezd tramvají oblouky s velmi malými poloměry způsobuje vysoké opotřebení kol a kolejnic a emise hluku a vibrací, přičemž vhodně zvoleným řízením aktivního natáčení tramvajových dvojkolí do oblouku lze tyto nepříznivé vlivy výrazně eliminovat.

Klíčová slova

aktuátor, aktivní natáčení, podvozek, tramvaj, opotřebení, kontakt kolo – kolejnice, dvojkolí.

Optimization of the active wheelset steering algorithm of an articulated tram in curves with very small radii

Abstract

The paper presents research on the use of active elements in the bogie of a modern low-floor articulated tram, which is carried out at the Faculty of Mechanical Engineering of the Czech Technical University in Prague. The reader is briefly introduced to the issue of technology of active steering of wheelsets in rolling stock and then to the proposed approach to the control of active elements in the bogie of a modern articulated tram with non-rotating bogies. Furthermore, the MBS model of this tram is presented in this contribution. The paper is devoted to the optimization of the algorithm for the control of turning of the wheelsets into curves with very small radii without transitions. Such curves are found on tram lines especially in city centres at intersections. Trams negotiating through curves with very small radii cause high wear of wheels and rails and noise and vibration emissions, and these adverse effects can be significantly eliminated by a suitably selected active wheelset steering of tram wheelsets.

Keywords

actuator, active steering, bogie, tram, wear, rail-wheel contact, wheelset

1. Úvod

Vynález železničního dvojkolí a ocelové kolejnice lze považovat za jeden z nejzásadnějších technických vynálezů, který významně přispěl k rozvoji lidstva. Odvalování ocelového kola po ocelové kolejnici má ve srovnání s jinými druhy pozemní dopravy výrazně nižší valivý odpor. Kuželovitý nebo křivkový profil kol dvojkolí umožňuje sinusový pohyb v koleji, který napomáhá rovnoměrnému opotřebení kol, a díky tvaru jízdní plochy kol je dvojkolí schopno fungovat také jako přirozený diferenciál, což umožňuje vozidlu projíždět oblouky.

Na druhou stranu má vazba dvojkolí – kolej i své limity. Jedním z největších problémů je průjezd kolejových vozidel oblouky o malých poloměrech, kdy 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, emisím hluku a vibrací či zvýšeným ztrátám trakční energie. Opotřebení kol a kolejnic má za

následek velké náklady jak pro správce infrastruktury, tak provozovatele vozidel, který musí zajistit soustružení (reprofilaci) opotřebovaného profilu kol a následně i výměnu kol, když je jejich průměr snížen na předepsané limitní hodnoty. Reprofilace kol, kterou je nutné pravidelně provádět kvůli opotřebování jejich jízdního profilu, a následná výměna celých kol či jejich obručí jsou jedním z největších nákladů při údržbě kolejových vozidel a zásadně se tak podílí na nákladech životního cyklu vozidla.

Tento problém je velmi patrný u městských kolejových vozidel, zejména tramvají, které obvykle jezdí na tratích vedoucích centry měst, kde se z prostorových důvodů často používají oblouky s velmi malými poloměry (méně než 25 metrů). Často také není možné před a za tyto oblouky zařadit přechodnici a křivost koleje se tak mění skokově, což je pro kolejová vozidla z hlediska opotřebování kol i komfortu jízdy krajně nepříznivé. Oblouky s ještě menšími poloměry (kolem 15 metrů) se také často vyskytují ve vozovkách.

I přes mnohá především mechanická vylepšení, zejména v oblasti podvozků vozidel, se stále jedná o velmi aktuální problém. V posledních desetiletích se tak věnuje velká pozornost technologii aktivního natáčení dvojkolí, kdy jsou dvojkolí vozidla natáčena do oblouku aktivně řízenými silovými prvky (aktuátory). Natočením dvojkolí do oblouku se snižuje úhel náběhu, a tím i skluzové síly ve styku kola s kolejnicí, a nedochází tak k natolik velkému opotřebování kol a kolejnic.

Technologie aktivního vedení dvojkolí je zkoumána již několik desetiletí a navzdory dostatečně prokázaným přínosům této technologie na základě výpočtů a zkoušek na reálných vozidlech nebyla dosud nasazena v běžném provozu. Významný technologický pokrok však přináší nové možnosti v oblasti řízení i konstrukce akčních členů a v blízké budoucnosti lze očekávat další pokusy o nasazení této technologie v nových vozidlech. V poslední době jsou tyto snahy nejvíce patrné u systému aktivního řízení dvojkolí LiCAS společnosti Liebherr pro kolejová vozidla klasické železnice nebo u švýcarského start upu Traila s jejím konceptem aktivního řízení tramvajových jednonápravových podvozků. Podrobný přehled současného stavu využití aktivních prvků v kolejových vozidlech uvádí autor v [1].

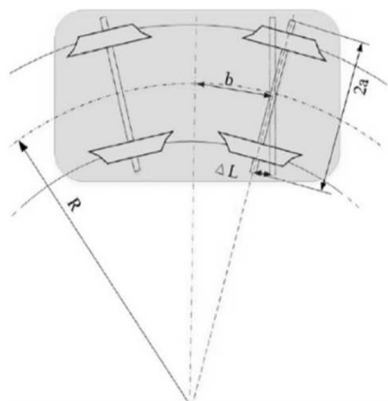
Většina výzkumu využití aktivních prvků ke snížení opotřebování kol a kolejnic při průjezdu oblouky se týká konvenčních kolejových vozidel, ačkoli potenciál úspor při údržbě díky využití aktivních prvků je velmi významný i pro tramvajový provoz. Tramvajový provoz má však mnoho specifík oproti konvenční železnici a přístup k řízení aktivních prvků tak musí být jiný. Článek tak představuje autorem navržený koncept umístění a řízení aktivních prvků v podvozcích článkové tramvaje s neotočnými podvozky.

2. Navržený koncept řízení aktivních prvků

Vzhledem k tomu, že většina dosavadních návrhů řízení aktivních prvků v podvozku kolejového vozidla je koncipována pro konvenční železnici, je nejčastěji používáno zpětnovazební řízení aktuátorů na základě pohybů mezi podvozkem a skříní vozidla. Tento způsob řízení je však pro tramvaje

nevhodný, jelikož většina současných tramvají využívá podvozky neotočné, které se natáčí společně se skříní článku tramvaje. Pro tramvaje s neotočnými podvozky navíc technologie aktivního natáčení dvojkolí do oblouků může přinést výrazně vyšší snížení opotřebení než u tramvají s otočnými podvozky. Navíc ani u tramvají s otočnými podvozky není tento princip příliš vhodný, jelikož vzhledem k velmi malému poloměru a malé délce oblouků na tramvajových tratích a poměrně dlouhé době výsuvu aktuátoru, by aktuátor nestíhal dvojkolí dostatečně natočit a technologie by nebyla tolik přínosná jako u těžké železnice.

Pro aktivní natáčení dvojkolí tramvaje je tak uvažováno s dopředným řízením aktuátorů v podvozku vozidla. Jako vstupní veličiny algoritmu řídicího výsuvu aktuátorů slouží poloměr oblouku R , rychlost a poloha vozidla. Natočení dvojkolí do oblouku je dáno výsunem aktuátorů ΔL , který je na základě poloměru oblouku určován dle vzorce (1), ve kterém $2b$ značí rozvor podvozku a $2a$ představuje příčnou vzdálenost aktuátorů natáčejících dvojkolí, viz Obrázek 1.

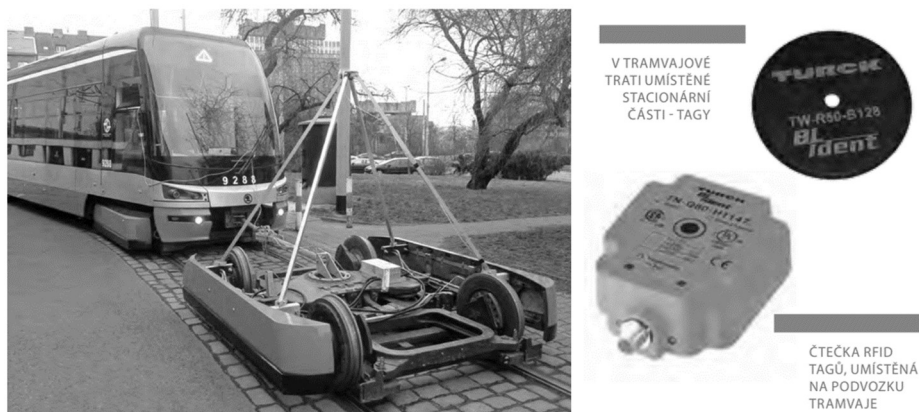
$$\Delta L = \frac{a \cdot b}{R} \quad (1)$$


Obr. 1. Výpočet výsuvu aktuátoru při průjezdu obloukem [2]

Rychlost vozidla je s dostatečnou přesností měřena již na dnešních vozidlech. Poloměr oblouku je pak na základě polohy vozidla na trati získáván z digitální mapy trati, která je nahrána ve vozidle. Digitální mapa trati obsahuje informace o jednotlivých úsecích projížděné trati a může být získána například speciálním měřicím zařízením (obrázek 2 vlevo), kterým je trať projeta, a naměřená data jsou následně zpracována do databáze a nahrána do vozidla [3].

Informace o poloměru oblouku je tedy získávána na základě lokalizace vozidla na trati. Jako nejlepší metoda lokalizace z hlediska robustnosti, bezpečnosti, nákladů i přesnosti lokalizace se jeví využití metody RFID [4], která je již používána v některých pokročilých tramvajových provozech. Vozidlo je lokalizováno na trati pomocí štítků umístěných na trati a čtečky těchto štítků

umístěných na vozidlech (viz obrázek 2 vpravo). Tento systém je využíván již dnes pro hlášení zastávek, kontrolu rychlosti vozidla či pro mazání okolků. [3] Jednalo by se tak pouze o rozšíření funkcionality již provozovaného systému.



Obrázek 2 - Tvorba digitální mapy trati (vlevo), štítek a čtečka technologie RFID (vpravo) [3]

3. MBS výpočet

Pro validaci navrženého konceptu aktivního natáčení dvojkolí byl v MBS programu Simpack vytvořen model článkové tramvaje s neotočnými podvozky s aktivním vedením dvojkolí, který byl propojen s modelem řízení aktuátorů v programu Matlab Simulink. Tyto dva programy si tak v každém časovém kroku simulace předávají potřebné informace. Z programu Simpack je v každém časovém kroku předávána informace o poloze vozidla na trati a rychlosti vozidla, z programu Simulink je pak předávána do programu Simpack hodnota natočení aktuátorů.

Pro vyhodnocení vlivu aktivního natáčení dvojkolí bylo využito indexu opotřebení, který je definován dle (2).

$$W = T_x \cdot v_x + T_y \cdot v_y \quad (2)$$

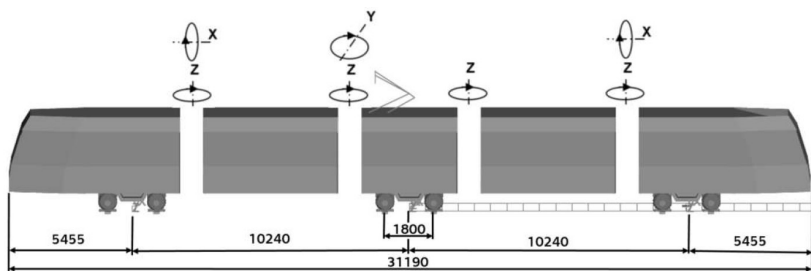
V rovnici (2) T_x značí podélnou skluzovou sílu, T_y je příčná skluzová síla, v_x je podélný poměrný skluz a v_y je příčný poměrný skluz. Jednotkou indexu opotřebení je Newton. Při integraci indexu opotřebení po délce tratě lze dostat energii disipovanou v kontaktu kolo - kolejnice.

3.1. Model vozidla

Pro vývoj systému aktivního natáčení bylo vybráno vozidlo koncepce „multigelenk“ tedy vozidlo s pěti články a třemi neotočnými podvozky. Takováto koncepce tramvaje odpovídá nejčastějšímu řešení moderních článkových nízkopodlažních tramvají ve světě. Toto řešení tramvaje se také jeví jako nejvýhodnější pro aplikaci technologie aktivního natáčení, jelikož radiální

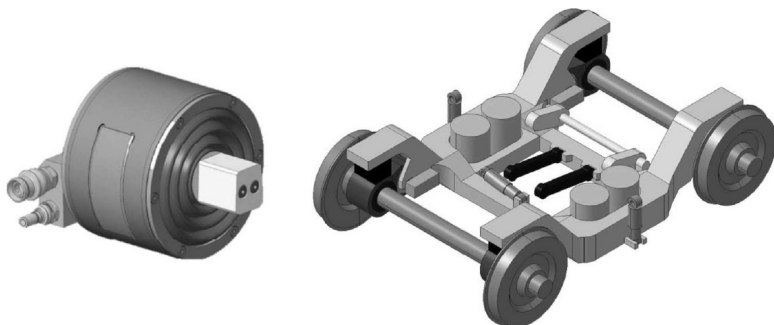
stavění dvojkolí do oblouku může výrazně zlepšit problémy tohoto vozidla při průjezdu oblouky malých poloměrů a oblouků bez přechodnice, jako jsou velké příčné síly v kontaktu kolo – kolejnice, cuknutí celého článku tramvaje při vjezdu do oblouku bez přechodnice či výrazné emise hluku a vibrací. Naopak výhody vozidla, kterými jsou zejména vysoká kapacita, širší ulička nad podvozky či nižší cena oproti vozidlům s otočnými podvozky zůstanou zachovány.

Základní parametry tramvaje pro vytvoření multi-body dynamics simulation (MBS) modelu vozidla jsou shrnuty v [4]. Parametry tramvaje byly určeny na základě základních koncepčních výpočtů, zkušeností autora a z veřejně dostupných zdrojů [8].



Obr. 3. MBS model vozidla

Podvozek je řešen jako neotočný, avšak díky dorazům s progresivní charakteristikou je umožněno natočení podvozku oproti skřini vozidla o ± 2 stupně. Vedení dvojkolí je řešeno pomocí kyvného ramene. Aktuátor aktivně natáčející dvojkolí do oblouku je umístěn v kloubu spojujícím kyvné rameno s rámem podvozku. Toto řešení umístění a technického řešení aktivního silentbloku představila v nedávné době firma Liebherr ve svém systému aktivního natáčení dvojkolí LiCAS [6,7]. Primární vypružení je uvažováno pomocí pryžokovových pružin. Základní parametry vypružení jednotlivých částí podvozku jsou shrnuty v [4]. Rychlost výsuvu aktuátoru je uvažována 7 mm/s dle [7]. Model aktuátoru nebyl pro dále představené simulace více rozpracován a bude zpřesňován v dalších fázích výzkumu.



Obr. 4. Aktivní silentblok Liebherr [2] (vlevo), zjednodušený model podvozku pro MBS výpočty (vpravo)

4. Definice řešeného problému

Aby bylo dosaženo co nejpřesnějšího odladění a nastavení algoritmu řídicího aktivní prvky v pojezdu tramvaje byl pro dynamické simulace na základě stavebních výkresů vytvořen model trati, který svým profilem odpovídá reálné tramvajové trati. Jako vhodná trať pro testování navrženého algoritmu aktivního natáčení byla zvolena pražská tramvajová trať Václavské náměstí – Národní Divadlo – Újezd – Sídliště Řepy. Podrobnější popis trati lze nalézt v [4]. Tuto trať lze považovat za reprezentanta klasické tramvajové trati, která vede z periferie do centra města, a je na ní velká přepravní poptávka. Zvolený traťový úsek představuje zhruba 62 % délky jedné z nejvytíženějších pražských tramvajových linek – linky č. 9. Valná většina trati je tvořena přímými úseky či úseky s velkými poloměry oblouku, nicméně zejména v centru města se na trati nachází oblouky s velmi malými poloměry (R20) bez přechodnic. Právě pro takovou trať se jeví jako vhodné použití vozidla zvolené koncepce „multigelenk“ v případě, že by takové vozidlo bylo schopno projíždět oblouky s malými poloměry bez zvýšeného opotřebení kol a kolejnic.

V první fázi výzkumu bylo potřeba vyzkoušet vliv natáčení dvojkolí na chování vozidla a opotřebení kol v jednotlivých obloucích na trati se vyskytujících. Z analýzy trati [4] bylo zjištěno, že se na trati nachází zejména v centru na křižovatkách několik oblouků bez přechodnic o poloměru 20 metrů a ostatní oblouky s vyššími poloměry jsou pak již vždy s přechodnicí.

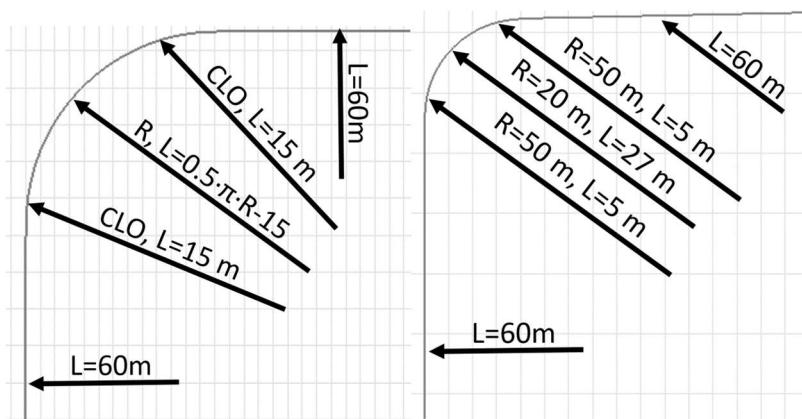
4.1. Průjezd oblouky s přechodnicí

Pro prvotní zmapování přínosů aktivního vedení dvojkolí u článkové tramvaje s neotočnými podvozky bylo provedeno celkem 112 simulací průjezdu vozidla porovnávajících aktivní a pasivní vedení dvojkolí při průjezdu jednotlivými oblouky o různých poloměrech za různých okrajových podmínek jako je koeficient tření v kontaktu kolo – kolejnice, naložení vozidla či rychlost vozidla (podrobněji popsáno v [4]). Dvojkolí byla natáčena na základě aktuální křivosti trati. Horizontální profil projížděných oblouků s přechodnicemi zobrazuje Obr. 6 vlevo.

Souhrnné výsledky porovnávající číslo opotřebení v kontaktu kola a kolejnice při jízdě s pasivním vypružením a při jízdě s aktivně vedenými dvojkolími za různých okrajových podmínek zobrazuje graf na Obr. 5. Každý sloupec grafu představuje součet integrovaného čísla opotřebení v kontaktu kolo-kolejnice na prvním podvozku vozidla pro 8 simulací průjezdu oblouku za různých okrajových podmínek s výsuvem aktuátorů umožňujícím radiální postavení dvojkolí v oblouku.



Obr. 5 – Číslo opotřebení prvního podvozku v závislosti na poloměru oblouku



Obrázek 6 - Horizontální profil projížděných oblouků

Dosažené výsledky ukazují velký přínos technologie aktivního vedení dvojkolí. V závislosti na poloměru oblouku bylo dosaženo snížení čísla opotřebení v rozmezí 64 – 97 %. Procentuálně nejvyššího snížení čísla opotřebení bylo dosaženo u oblouků s poloměry 115 a 225 metrů, nicméně nominálně největšího snížení bylo dle předpokladu dosaženo u nejostřejšího oblouku s poloměrem 20 metrů. Dle předpokladu největší vliv na snížení opotřebení měla uvažovaná hodnota koeficientu tření. U oblouků s přechodnicemi tak lze konstatovat, že řízení aktuátorů na základě aktuální křivosti trati funguje velmi dobře.

4.2. Průjezd oblouky bez přechodnice

Z analýzy směrových poměrů na zvolené zkušební trati vyplynulo, že největší problém z hlediska opotřebení kol a kolejnic, emisí hluku a vibrací i ztrát energie v kontaktu kolo – kolejnice představují odbočení na křižovatkách. Na zvolené trati se tato odbočení vyskytují čtyřikrát. Pravděpodobně z prostorových důvodů se na těchto odbočeních nacházejí oblouky bez

přechodnice tvořené na vjezdu a výjezdu krátkým úsekem oblouku o poloměru 50 metrů a střední částí oblouku o poloměru 20 metrů. Tyto oblouky tak mají stěžejní vliv na opotřebením kol a tvoří největší překážku pro nasazení článkových tramvají s neotočnými podvozky na tuto trať. Horizontální profil směrových oblouků na křižovatkách v centru města zobrazuje Obr. 5 vpravo.

Maximální dovolená rychlost průjezdu těmito oblouky je v pražské tramvajové síti 15 km/hod, což odpovídá nevykompenzovanému příčnému zrychlení $0,87 \text{ m/s}^2$.

Při aplikaci řízení výsuvu aktuátorů na základě aktuální křivosti trati, která se v tomto případě mění skokově, dochází k tomu, že aktuátor se začne vysouvat až při vjezdu do oblouku. Vzhledem k relativně pomalé rychlosti výsuvu aktuátoru a malé délce oblouku dojde k natočení dvojkolí do radiální polohy pouze na velmi krátkou dobu a není tak zdaleka využit potenciál snížení opotřebením kol. Při výjezdu z oblouku naopak aktuátor začne dvojkolí rovnat do nenatočené polohy až v přímé trati a zvyšuje se tak opotřebením kol a kolejnic po výjezdu dvojkolí z oblouku.

Přístup k řízení aktuátorů pro tyto speciální oblouky na křižovatkách tak bylo třeba optimalizovat.

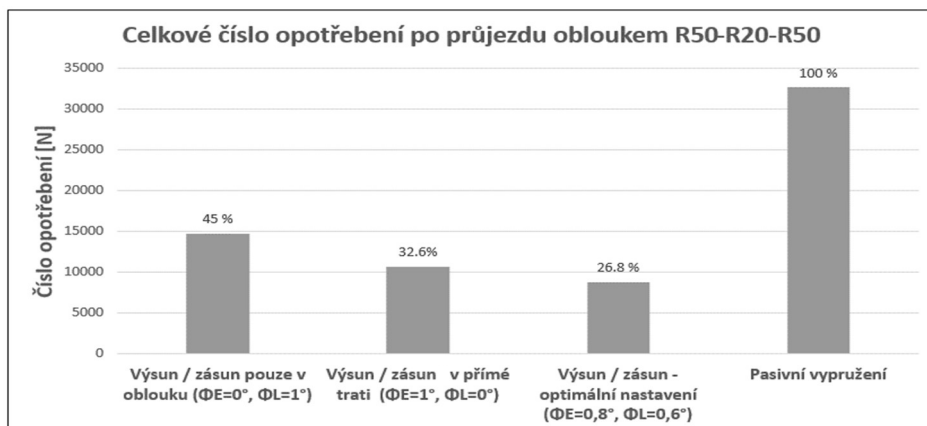
5. Optimalizace průjezdu oblouky malých poloměrů bez přechodnice

Z tohoto důvodu bylo dále pracováno s ideou začít natáčet dvojkolí ještě před vjezdem do oblouku, a naopak dvojkolí před výjezdem z oblouku rovnat zčásti již v oblouku. Tento přístup je aplikován pouze u oblouků bez přechodnice, jelikož v případě využití přechodnice dochází k pozvolné změně křivosti trati a aktuátor je tak schopen dvojkolí natočit do oblouku v rámci průjezdu přechodnicí.

Při takovém přístupu k řízení aktuátorů dojde ke zvýšení opotřebením kol ještě před vjezdem do oblouku, nicméně dvojkolí do oblouku již vjede z části či zcela natočené, tudíž dojde k výraznému snížení opotřebením při průjezdu obloukem samotným. Na výjezdu z oblouku se dvojkolí z části či plně srovnává až v přímé trati a dojde tak opět ke zvýšení opotřebením. Cílem tedy je najít optimální míru natočení dvojkolí ještě před vjezdem do oblouku a optimální míru natočení dvojkolí při výjezdu z oblouku, při kterém je celková disipovaná energie či zintegrované číslo opotřebením v kontaktu kolo – kolejnice v rámci celého úseku zobrazeném na Obr.5 vpravo nejmenší.

Pro určení optimálního bodu natočení dvojkolí při vjezdu do a výjezdu z oblouku byly definovány parametry Φ_E a Φ_L . Parametr Φ_E představuje úhel natočení dvojkolí při vjezdu do oblouku a Φ_L představuje úhlový rozdíl mezi natočením dvojkolí v radiální poloze a natočením dvojkolí při výjezdu z oblouku. Počátek natáčení při vjezdu do oblouku a výjezd z oblouku v nenatočené poloze tedy pro oblouk o R50 představují hodnoty $\Phi_E = 0^\circ$ a $\Phi_L = 1^\circ$, zatímco vjezd a výjezd dvojkolí do a z oblouku v radiální poloze odpovídá úhlům $\Phi_E = 1^\circ$ a $\Phi_L = 0^\circ$. Kombinace $\Phi_E = 0^\circ$ a $\Phi_L = 0^\circ$ pak odpovídá řízení na základě křivosti trati.

Obrázek 6 pak porovnává výše představené způsoby natáčení dvojkolí z hlediska celkového čísla opotřebení po průjezdu oblou R50 - R20 - R50.



Obr. 6 - Celkové číslo opotřebení po průjezdu obloukem R50 - R20 - R50 u prvního dvojkolí vozidla

Pro definované parametry Φ_E a Φ_L byl zvolen krok $0,2^\circ$ a byl simulován průjezd výše popsaným odbočením na křižovatce při:

- různé hodnotě parametrů Φ_E a Φ_L
- různé rychlosti průjezdu obloukem – 5, 10 a 15 km/hod
- vysunutím aktuátoru $\Delta L_{\max}=15$ mm (současná maximální hodnota výsuvu aktuátoru Liebherr [7]) a $\Delta L_{\max}=26,325$ mm (hodnota vysunutí aktuátoru odpovídající radiální poloze dvojkolí v R20).

Při jednotlivých průjezdech byla zaznamenávána integrovaná hodnota čísla opotřebení za průjezd celým úsekem na všech kolech vozidla. Následující Tabulka 2 zobrazuje procentuální snížení čísla opotřebení v závislosti na volbě parametrů Φ_E a Φ_L pro rychlost 15 km/hod a aktuátor s $\Delta L_{\max} = 26,325$ mm.

Tab. 1 - Optimální nastavení začátku a konce natáčení jednotlivých dvojkolí při průjezdu oblouku R50 – R20 –R50

rychl. km/hod	ΔL mm	WS1		WS2		WS3		WS4		WS5		WS6	
		Φ_E [°]	Φ_L [°]	Φ_E [°]	Φ_L [°]	Φ_E [°]	Φ_L [°]	Φ_E [°]	Φ_L [°]	Φ_E [°]	Φ_L [°]	Φ_E [°]	Φ_L [°]
15	26.33	0.8	0.6	1	0.6	0.8	0.6	1	0.6	0.8	0.4	0	1
10	26.33	0.6	0.4	0.8	0.4	0.6	0.4	0.8	0.4	0.6	0.4	0.8	0.6
5	26.33	0.6	0.2	1.2	0	0.6	0.2	1.2	0.4	0.6	0	1.2	0.8
15	15	0.6	0.2	0.6	0.4	0.6	0	0.8	0.4	0.6	0	1	0.4
10	15	0.6	0	0.8	0.4	0.4	0.2	0.8	0.4	0.4	0	0.8	0.4
5	15	0.6	-0.2	1.2	0.4	0.6	-0.2	1.2	0.4	0.6	-0.4	1.2	0.4

Tab. 2 - Redukce čísla opotřebení při průjezdu R50 – R20 –R50 v závislosti na volbě definovaných parametrů

Procentuální snížení čísla opotřebení při průjezdu obloukem R50 - R20 - R50 s aktivním natáčením dvojkolí																
Podvozek 1																
dvojkolí 1								dvojkolí 2								
$\Downarrow \Phi_L \setminus \Phi_E \Rightarrow$	1,2°	1°	0,8°	0,6°	0,4°	0,2°	0°	$\Downarrow \Phi_L \setminus \Phi_E \Rightarrow$	1,2°	1°	0,8°	0,6°	0,4°	0,2°	0°	
0°	66	67,4	67,9	67,0	65,2	62,2	58,8	0°	51	52,0	51,7	51,4	51,1	50,0	48,1	
0,2°	70	71,2	71,7	70,9	69,0	66,0	62,7	0,2°	53	54,0	53,8	53,5	53,0	52,0	50,1	
0,4°	71	72,9	73,2	72,5	70,7	67,8	64,3	0,4°	53,5	54,3	54,1	53,8	53,3	52,3	50,4	
0,6°	70	71,1	71,4	70,6	69,0	66,0	62,6	0,6°	53	53,8	53,5	53,1	52,7	51,6	49,7	
0,8°	66	67,6	67,9	67,2	65,3	62,3	59,0	0,8°	52	51,9	51,6	51,1	50,7	49,8	47,9	
1°	62	63,4	63,5	62,9	61,1	58,1	54,8	1°	47	46,7	46,2	45,8	45,5	44,5	42,9	
Podvozek 2																
dvojkolí 3								dvojkolí 4								
$\Downarrow \Phi_L \setminus \Phi_E \Rightarrow$	1,2°	1°	0,8°	0,6°	0,4°	0,2°	0°	$\Downarrow \Phi_L \setminus \Phi_E \Rightarrow$	1,2°	1°	0,8°	0,6°	0,4°	0,2°	0°	
0°	63	65,0	65,6	64,6	62,9	60,1	56,9	0°	49	50,3	50,2	49,7	49,2	48,3	46,9	
0,2°	67	69,3	69,9	69,0	67,1	64,3	61,2	0,2°	50	51,1	51,1	50,6	50,1	49,2	47,7	
0,4°	70	71,8	72,4	71,5	69,7	66,8	63,8	0,4°	51	51,62	51,56	51,1	50,5	49,7	48,1	
0,6°	70	71,7	72,3	71,3	69,6	67,0	63,6	0,6°	50	50,6	50,6	50,1	49,6	48,7	47,2	
0,8°	66	68,1	68,8	67,8	66,0	62,9	60,0	0,8°	48	48,6	48,6	48,1	47,5	46,7	45,2	
1°	62	64,0	64,7	63,7	61,8	59,1	55,9	1°	43	44,1	44,1	43,6	43,1	42,3	40,8	
Podvozek 3																
dvojkolí 5								dvojkolí 6								
$\Downarrow \Phi_L \setminus \Phi_E \Rightarrow$	1,2°	1°	0,8°	0,6°	0,4°	0,2°	0°	$\Downarrow \Phi_L \setminus \Phi_E \Rightarrow$	1,2°	1°	0,8°	0,6°	0,4°	0,2°	0°	
0°	64	66,0	66,9	66,0	64,2	61,3	58,1	0°	52	52,8	52,0	51,2	50,3	49,1	46,8	
0,2°	68	70,6	71,5	70,6	68,7	65,8	62,7	0,2°	53	53,6	52,9	52,0	51,1	49,9	47,6	
0,4°	71	73,5	74,4	73,5	71,7	68,8	65,7	0,4°	53	53,7	53,0	52,2	51,2	50,1	47,8	
0,6°	71	73,6	74,5	73,6	71,8	68,8	65,7	0,6°	52	52,8	52,1	51,3	50,3	49,1	46,8	
0,8°	68	70,7	71,6	70,7	68,9	66,0	62,8	0,8°	50	50,6	50,0	49,1	48,1	46,9	44,6	
1°	65	66,9	67,8	66,9	65,1	62,1	59,0	1°	46	46,3	45,6	44,8	43,8	42,7	40,3	

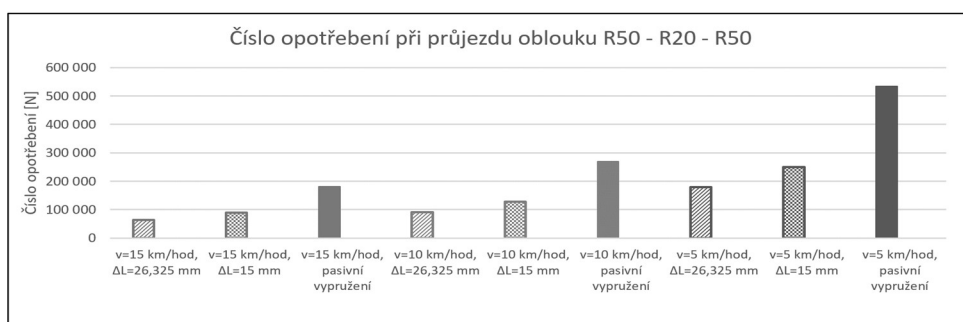
Obdobná analýza optimálních hodnot Φ_E a Φ_L byla provedena pro všechny zmíněné kombinace rychlostí a verzí aktuátorů. Dosažené výsledky shrnuje Tabulka 1.

Na základě výstupů simulací průjezdu odbočeními na křižovatkách byl nastaven algoritmus řízení aktuátorů dle hodnot, které zobrazuje Tabulka 1. Natáčení jednotlivých dvojkolí je tak započato a zakončeno v různé poloze před vjezdem do oblouku v závislosti na aktuální rychlosti vozidla a simulované verzi aktuátoru. Rychlost vozidla je pro nastavení parametrů Φ_E a Φ_L rozdělena v rámci třech intervalů: (0; 7,5 km/hod); (7,5 km/hod; 12,5 km/hod) a (12,5 km/hod; 50 km/hod).

Při takto nalaženém natáčení dvojkolí bylo dosaženo snížení čísla opotřebení o zhruba 65 % při aktivním natáčení s maximálním výsuvem aktuátoru $\Delta L_{\max}=26,325$ mm a kolem 50 % s aktuátorem s $\Delta L_{\max}=15$ mm. Přesné výsledky zobrazuje Tabulka 3 a graf na Obrázku 7.

Tab. 3 - Číslo opotřebení při průjezdu R50 - R20 - R50 v závislosti na okrajových podmínkách

rychlost km/hod	ΔL mm	Index opotř. N	Snížení ind. op. %
15	26.325	64 202	64.6
15	15	89 823	50.5
15	0	181 328	0.0
10	26.325	90 265	66
10	15	127 260	53
10	0	269 128	0
5	26.325	178 684	67
5	15	249 443	53
5	0	533 607	0



Obr. 7 - Číslo opotřebení při průjezdu oblouku R50 - R20 - R50

6. Závěr

Tento článek představuje výzkum použití aktivně řízených prvků v podvozku nízkopodlažní článkové tramvaje pro účely aktivního vedení dvojkolí. Dostatečné robustnosti navrhovaného systému napomáhá skutečnost, že do algoritmu řízení aktivních prvků vstupují pouze veličiny, které lze bezpečně měřit s dostatečnou přesností a bez zvýšení nákladů na vybavení vozidla senzorikou. Pro aktivní řízení dvojkolí byl použit koncept aktivního silentbloku inspirovaný řešením společnosti Liebherr pro konvenční kolejová vozidla. Podle názoru autora je reálné zabudovat tento druh aktuátoru i do tak prostorově omezené konstrukce, jakými jsou současné podvozky nízkopodlažních tramvají.

Představený systém byl aplikován na model kloubové tramvaje koncepce "multigelenk" a byl simulován průjezd jednotlivými oblouky vybranými na základě analýzy pražské tramvajové trati Václavské náměstí - Sídliště Řepy. Porovnáním aktivního a pasivního vedení dvojkolí bylo dosaženo velmi dobrých výsledků u oblouků s přechodnicemi, kdy se celkový index opotřebení v kontaktu kola s kolejnicí snížil v průměru o 64 – 97 % ve srovnání s vozidlem s konvenčním vypružením. Naopak při průjezdu oblouky na křižovatkách, které

nejdou vybaveny přechodnicemi a mají velmi malý poloměr 20 metrů, algoritmus založený na natáčení dvojkolí na základě aktuální křivosti nefungoval optimálně a bylo třeba řízení natáčení dvojkolí v těchto traťových úsecích optimalizovat.

Optimalizované řešení začíná natáčet dvojkolí již před obloukem a naopak rovnat dvojkolí částečně ještě před výjezdem z oblouku. Vzdálenost před obloukem, kdy vozidlo začne natáčet jednotlivá dvojkolí, byla odvozena experimentálně na základě velkého množství simulací průjezdu vozidla tímto úsekem za různých okrajových podmínek, jako je rychlost či maximální vysunutí aktuátorů. Byly definovány pomocné parametry, jejichž optimální hodnoty byly získány na základě simulací a byly nastaveny do algoritmu řídicího natáčení dvojkolí.

Další výzkum bude zaměřen především na zpřesnění modelu aktuátoru, a zkoumání vlivu nepřesností v určování polohy vozidla na trati na opotřebení kol a bezpečnost provozu. Dále je plánována validace navrženého řídicího algoritmu a dosažených výsledků MBS výpočtů na experimentálním kladkovém stavu v laboratořích Fakulty strojní ČVUT v Praze.

Literatura

- [1] VRBA, J. and J. KOLÁŘ. Možnosti aplikace aktivních prvků v kolejových vozidlech. Nová železniční technika. 2022, 2022(4), 24-32. ISSN 1210-3942
- [2] 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
- [3] HORNÁK, R. EMA umí mazat či omezit rychlost. DP Kontakt. 2018(1), 12-14.
- [4] KUUTTI, Sampo, Saber FALLAH, Konstantinos KATSAROS, Mehrdad DIANATI, Francis MCCULLOUGH a Alexandros MOUZAKITIS. A Survey of the State-of-the-Art Localization Techniques and Their Potentials for Autonomous Vehicle Applications. IEEE Internet of Things Journal [online]. 2018, 5(2), 829-846. ISSN 2327-4662.
- [5] VRBA, J. Reduction of wheel and rail wear by application of actuators in the primary suspension of an articulated tram. In: NIEßEN, N. and Ch. SCHINDLER, eds. IRSA 2023 : Tagungsband/proceedings: Aachen, Germany 22-23 November 2023. Hamburg: DVV Media group Eurailpress, Hamburg, 2024. p. 248-263. DOI 10.18154/RWTH-2024-00257. Available from: <https://publications.rwth-aachen.de/record/976473/files/976473.pdf>
- [6] LiCAS passes test successfully [online]. Available from: <https://www.liebherr.com/en/can/latest-news/news-press-releases/detail/licas-passes-test-successfully.html>.
- [7] Electrohydraulic Controlled Axle Steering (eCAS) [online]. Available from: <https://www.liebherr.com/shared/media/aerospace-and-transportation/transportation/downloads/products/liebherr-electrohydraulic-controlled-axle-steering-ecas.pdf>
- [8] ČIHÁK, Stanislav. Optimalizace parametrů článkové nízkopodlažní tramvaje. Praha, 2022. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Jan Kalivoda.

Poděkování

Tato práce byla podpořena granted Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS23/161/OHK2/3T/12.

Analýza emisí hluku na styku kola a kolejnice

Ing. Bc. Jan Kruntorád

ČVUT v Praze Fakulta dopravní

Konviktská 20, 110 00 Praha 1

e-mail: kruntjan@fd.cvut.cz

Abstrakt

Příspěvek představuje problematiku měření emisí hluku na rozhraní kolo-kolejnice metodou vyvíjenou v projektu HLUKOS (Dynamická opto-akustická metoda hodnocení emisní hlučnosti železničního svršku). Uvádí výsledky korelace mezi vysvětlujícími proměnnými a upozorňuje také na ne zcela příznivé výsledky dosavadních analýz naměřených dat a nutnost kategorizace dat podle provozních a infrastrukturních kritérií.

Klíčová slova

Diagnostika, dvojkolí, emisní hlučnost, HLUKOS, opto-akustický systém měření, zvukový analyzátor, železniční svršek, železniční vozidlo.

Analysis of Noise Emissions at Wheel-Rail Contact

Abstract

The paper presents the problem of measuring noise emissions at the wheel-rail interface using the method developed in the HLUKOS (Dynamic Opto-Acoustic Method for Railway Superstructure Emission Noise Assessment) project. It presents the results of the correlation between explanatory variables and it also draws attention to the not entirely favourable results of the analysis of the measured data so far and the need to categorise the data according to operational and infrastructure criteria.

Keywords

Diagnostics, Emission Noise, HLUKOS, Opto-acoustics, Rail Vehicle, Railway Superstructure, Sound Analyzer, Wheelset.

1. Úvod

Narůstající intenzita železniční dopravy spolu se zvyšováním traťových rychlostí s sebou přináší i vyšší rychlost vzniku a rozšiřování únavových vad na jednotlivých součástech železničního svršku, což má mimo jiné za následek i vyšší hluk při jeho poježdění. Za účelem možnosti téměř okamžité detekce vzniku únavových vad je vyvíjen projekt HLUKOS, jehož základní podstatou je prověření možnosti využití akustických dat při diagnostice železničního svršku a doplnění stávajících konvenčních diagnostických metod založených na laserové nebo kontaktní technologii. Na záznamová zařízení (mikrofony) instalovaná na podvozcích železničních vozidel je kladeno množství technických a kvalitativních požadavků, současně je požadována i jednoduchost z pohledu montáže, demontáže a umístění na vozidle. Důvodem je možnost plošného rozšíření systému i mimo specializovaná měřicí vozidla, což umožní pokrytí celé železniční sítě pravidelnými měřeními. Podmínkou pro takové využití je ověření, že ze záznamu emisní hlučnosti lze skutečně odvodit stav železničního svršku.

2. Teorie hluku z jízdy železničních vozidel

Kolejové vozidlo, které se pohybuje po koleji, emituje zvuk, který vzniká z různých příčin a jehož zdroje se nachází na vozidle (resp. na celé soupravě) na různých místech:

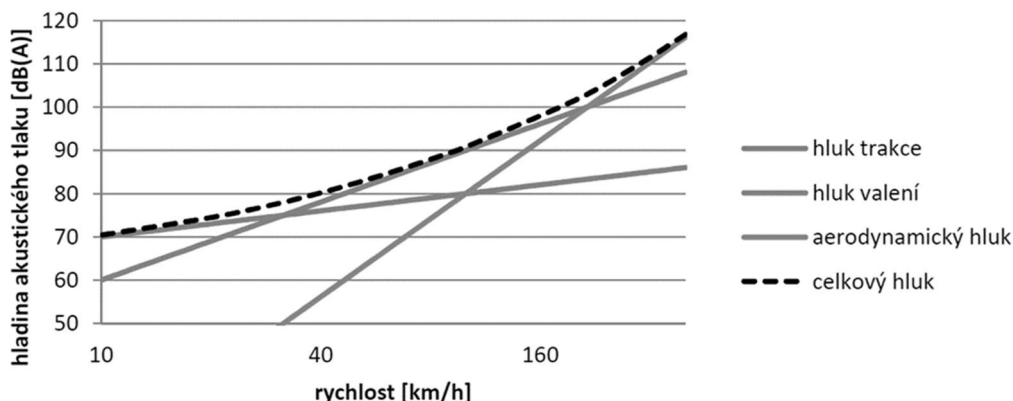
- zvuk z hnacích agregátů u hnacích vozidel (trakční motory a pomocné pohony, měniče el. napětí, mechanické převody)
- zvuk klimatizace/topení pro interiér vozidel (ventilátory)
- zvuk, který vzniká při brždění jako důsledek tření (u různých typů třecích brzd)
- zvuk z valení ocelového kola po ocelové kolejnici, který je závislý na drsnosti povrchu kol i kolejnic, včetně tření okolku o hlavu kolejnice
- aerodynamický zvuk, který je způsobený prouděním vzduchu kolem vozidla/soupravy, včetně proudění kolem sběrače (pantografu)
- zvukové návěsti (signály)

Jestliže současně působí více zdrojů zvuku, výsledná hladina intenzity zvuku se určí jako tzv. energetický součet všech zdrojů (1). [1]

$$L = 10 \cdot \log \left(\sum_{i=1}^n \frac{I_i}{I_0} \right) = 10 \cdot \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (1)$$

kde:

- L – celková hladina akustického tlaku při současném působení n zdrojů [dB]
- n – počet zdrojů zvuku [–]
- I_i – intenzita zvuku i -tého zdroje [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
- I_0 – referenční (prahová) intenzita zvuku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
- L_i – hladina akustického tlaku i -tého zdroje [dB]



Obr. 1. Hladina akustického tlaku hluku vznikající při jízdě železničního vozidla podle zdrojů hluku [2]

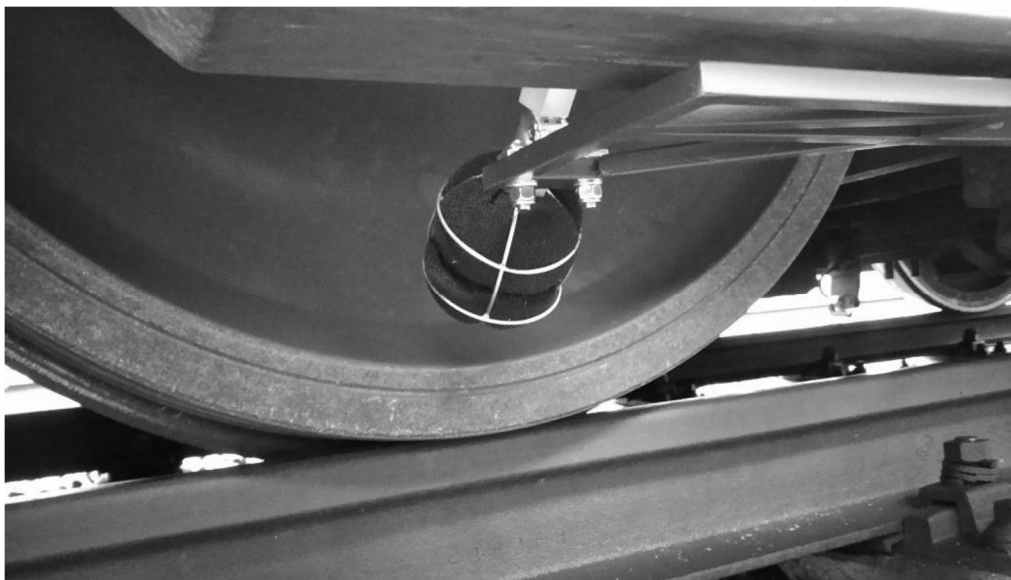
3. Snímání zvuku v blízkosti styku kola a kolejnice – systém HLUKOS

Při snímání zvuku v blízkosti styku kola a kolejnice je cílem zaměřit se pouze na složku, která má přímou souvislost s kvalitou provedení a stavem železničního svršku – tedy jevem odvalování kol po kolejnicích. Nezbytné je v rámci snímání hladin akustického tlaku eliminovat ostatní hlukové složky tak, aby měření akustické emise odvalování neovlivňovaly.

Díky logaritmickému charakteru dynamiky akustické energie a souvisejícím fyzikálním zákonitostem není nezbytné, aby tato eliminace byla zcela dokonalá. Stačí, když hladina akustického tlaku dopadající na mikrofon od měřeného zdroje (v našem případě hlukové složky odvalování) je minimálně o 10 dB, ideálně o 20 dB vyšší než hladina akustického tlaku pozadí, tedy všech ostatních hlukových jevů v okolí (v souladu s principem energetického součtu (1)).

Cílem akustické eliminace ostatních zdrojů hluku a měření skutečně pouze samostatné emisní hlučnosti železničního svršku je tedy dostat potřebné senzory co nejbližší měřenému jevu – co nejbližší místu styku železničního kola s kolejnicí. To s sebou nese úskalí v podobě nároků na instalované technologie z hlediska jejich odolnost. Takové technologie již existují, např. měření emisní hlučnosti povrchů vozovek tzv. metodou malé vzdálenosti CPX (Close Proximity Method) [3], popř. optické měření mikrotextury a makrotextury povrchu, kterých se v dnešní době hojně využívá zejména v souvislosti s rostoucím trendem pokládání nízkohlučných povrchů vozovek.

Sběr dat probíhá v rámci výzkumného projektu HLUKOS z mikrofonů symetricky umístěných u dvojkolí diagnostického vozu MVŽSv2 – Centrum techniky a diagnostiky, Správa železnic, státní organizace, právě v takové referenční pozici (viz Obr. 2), která je měřenému kolu nejbližší a na základě další technické analýzy a poslechu zvukového záznamu vykazuje nejnižší míru rušení prouděním vzduchu i ostatními okolními jevy.



Obr. 2. Poloha mikrofonu pro snímání hluku styku železničního kola a kolejnice na diagnostickém voze MVŽSv2

Klíčová je volba a správná konfigurace zvukového analyzátoru, jehož funkcí je v reálném čase zpracovat data snímaná měřicími mikrofony a přepočítat je na konkrétní akustické parametry. Problém tkví v kombinaci vysokých jízdních rychlostí diagnostického vozu (aktuálně max. 160 km/h, v blízké budoucnosti až 200 km/h) a požadavku na velmi jemné vzorkování parametrů železniční koleje. Pro řešení tohoto projektu byl využit k tomu speciálně určený senzorický akustický systém vyvinutý v rámci řešitelského týmu projektu – společností EKOLA group, spol. s r.o. a ČVUT v Praze, Fakultou dopravní. Tento systém umožňuje sběr akustických dat s přesností srovnatelnou s konvenčně používanou zvukoměrnou technikou ve vzorkovací frekvenci až 48 kHz, což představuje vzorek trvající 0,02 ms. Použitím tohoto systému se tak z technického hlediska otevírá možnost jemného vzorkování s rozlišením až 1 mm délky trati při rychlosti jízdy 200 km/h. Výsledná jemnost vzorkování má však ještě další závislosti, zejména s analyzovaným frekvenčním spektrem zvuku.

Výše popisovaný systém je částí nového opto-akustického systému pro měření, sledování a diagnostiku emisní hlučnosti a kvality železničního svršku. Měření zvuku je v projektu HLUKOS kombinováno s výstupy měřicího vozu pro železniční svršek MVŽSv2. Vůz je mimo jiné vybaven technologiemi pro měření mikrogeometrie povrchu hlav kolejnic, zrychlení na ložiskových domcích a čelním laserem, veškeré parametry je navíc schopen sbírat při rychlosti až do 200 km/h. Měřenými veličinami jsou pro potřeby projektu zejména: rozchod a převýšení koleje, křivost koleje; výška a směr obou kolejnicových pásů a geometrické osy koleje. U vybraných veličin je stanoveno pásmo vlnové délky, ve kterém je daná veličina měřena: D0 1 – 5 m; D1 3 – 25 m; D2 25 – 70 m.

4. Analýza dat emisí hluku

Měření proběhlo v dubnu 2023 na vybraných úsecích železničních tratí zařazených do sítě TEN-T v České republice (s ohledem na publikační dohodu s manažerem infrastruktury nebude uveden konkrétní úsek). Denní teploty se pohybovaly mezi 2–6 °C, bylo polojasno až oblačno. Senzorické systémy MVŽSv2 data sbírají s četností čtyři záznamy na metr, příp. jeden záznam na metr v případě hodnot mikrogeometrie. Každá čtvrtina metru získá v databázi měřených dat své ID od začátku měření, aktuální rychlost jízdy měřicího vozu a staničení trati podle ujeté vzdálenosti od zadané výchozí polohy. Analýza proběhla nad 930 626 záznamy, což představuje změření více než 230 km kolejí.

Odečítanými akustickými veličinami, které z hlediska modelování jsou považovány za vysvětlované nezávisle proměnné, jsou ekvivalentní hladiny akustického tlaku frekvenčně váhované filtry A a C.

Výsledky testování korelace mezi vysvětlujícími veličinami navzájem jsou v Tab. 1, přičemž jsou zobrazeny pouze kombinace veličin s korelačním koeficientem $|r|$ větším než 0,9. Korelační koeficient mezi ekvivalentními hladinami akustického tlaku váhovanými filtry A a C je 0,9805.

Tab. 1. Korelace mezi vysvětlujícími veličinami (pouze $|r| > 0,9$)

Veličina 1	Veličina 2	Korelační koeficient r
Převýšení koleje kvazistatické <i>PK_KS</i>	Převýšení koleje celkové <i>PK_CEL</i>	0,9996
Křivost koleje kvazistatická <i>KK_KS</i>	Křivost koleje celková <i>KK_CEL</i>	0,9862
Zrychlení horizontální metoda RMS <i>ZH_RMS</i>	Zrychlení horizontální metoda MAXIMA <i>ZH_MAX</i>	0,9651
Zrychlení levé vertikální metoda RMS <i>ZL_RMS</i>	Zrychlení levé vertikální metoda MINIMA <i>ZL_MIN</i>	-0,9515
Zrychlení pravé vertikální metoda RMS <i>ZP_RMS</i>	Zrychlení pravé vertikální metoda MINIMA <i>ZP_MIN</i>	-0,9482
Zrychlení levé vertikální metoda RMS <i>ZL_RMS</i>	Zrychlení levé vertikální metoda MAXIMA <i>ZL_MAX</i>	0,9449
Zrychlení pravé vertikální metoda RMS <i>ZP_RMS</i>	Zrychlení pravé vertikální metoda MAXIMA <i>ZP_MAX</i>	0,9388
Křivost koleje kvazistatická <i>KK_KS</i>	Převýšení koleje kvazistatické <i>PK_KS</i>	0,9330
Křivost koleje kvazistatická <i>KK_KS</i>	Převýšení koleje celkové <i>PK_CEL</i>	0,9325
Převýšení koleje kvazistatické <i>PK_KS</i>	Křivost koleje celková <i>KK_CEL</i>	0,9181
Převýšení koleje celkové <i>PK_CEL</i>	Křivost koleje celková <i>KK_CEL</i>	0,9166

Testování korelace mezi vysvětlujícími veličinami a cílovými (hlukovými) veličinami LA_{EQ} a LC_{EQ} shrnuje Tab. 2.

Tab. 2. Regrese mezi vysvětlovanými a vysvětlujícími veličinami (pouze $|k| > 0,25$)

Veličina	Regresní koeficient k_{LA_EQ}	Regresní koeficient k_{LC_EQ}
Rychlost jízdy při měření V_GPK	0,8078	0,7437
Zrychlení levé vertikální metoda RMS ZL_RMS	0,3199	0,2882
Zrychlení levé vertikální metoda MINIMA ZL_MIN	-0,3173	-0,2849
Zrychlení levé vertikální metoda MAXIMA ZL_MAX	0,2933	0,2635
Zrychlení pravé vertikální metoda RMS ZP_RMS	0,2820	0,2556

5. Diskuse výsledků

Analýza korelačních koeficientů nejlépe potvrzuje závislost mezi křivostí a zřízeným převýšením koleje, a to napříč veličinami kvazistatickými a celkovými s hodnotami $r > 0,91$. Převýšení koleje je zřizováno v obloucích pro eliminaci účinků odstředivé síly, přičemž je nepřímo úměrné poloměru oblouku, tedy přímo úměrné křivosti. Podobně silné vazby vykazují i veličiny ze skupiny zrychlení na ložiskových domcích, silnou korelaci lze pozorovat zejména mezi daty jednotlivých veličin zrychlení získaných metodou root-mean-square s metodami minima a maxima, v takových případech dosahuje $|r| > 0,79$. Vzhledem k podstatě výpočtu metodou RMS, která na rozdíl od bodového hodnocení minimální a maximální špičky signálu představuje energii signálu, jedná se o očekávatelný výsledek. Výška levého kolejnicového pásu koreluje s výškou pravého kolejnicového pásu, a to jak v rámci vlnového pásma D0 i D1, korelační koeficient r se pohybuje kolem 0,85. Závislost byla nalezena též mezi úklonem levého a pravého kolejnicového pásu, konkrétně $r = 0,74$. Regresi analyzujeme s nekorelovanými veličinami, což znamená, že z uvedených silně korelovaných skupin veličin budeme vybírat jen zástupné veličiny a budeme tak moci snížit počet proměnných. Většina závislostí, které nebyly explicitně v Tab. 2 uvedeny, vykazují slabou korelaci $|r| < 0,1$ a mohou být vstupem do analýzy regresní.

Ekvivalentní hladiny akustického tlaku, které se liší v použitých frekvenčních váhovacích filtrech A a C, vykazují prakticky stejné vlastnosti, což dokládá korelační koeficient 0,98 mezi těmito veličinami. Pro zjednodušení výpočetních modelů je tak možné uvažovat pouze s jednou z těchto veličin, přičemž na základě výsledků z Tab. 2 je zřejmé, že lepších výsledků dosahuje použití frekvenčního váhovacího filtru A.

Z provedené úvodní fáze regresní analýzy mezi vstupními parametry o stavu trati a výstupní akustickou veličinou zatím nevyplývají zcela přímočaré výsledky. Nejtěsnější závislost je indikována u jízdní rychlosti, kdy regresní koeficient dosahuje téměř 0,81. Toto koresponduje s dřívějšími výzkumy (např. [4]), že valivý hluk narůstá s rychlostí měření. Do akustického působení se

promítají také veličiny zrychlení na ložiskových domcích, ačkoliv regresní koeficient $|k|$ je poměrně nízký, když se pohybuje pouze okolo hodnot 0,30. Analýze dat o zrychlení na ložiskových domcích bude věnována pozornost v dalších výzkumech, neboť byl prokázán nezanedbatelný vliv na emitovaný hluk a současně se jedná o parametr vstupující do vyhodnocení bezpečnosti proti vykolejení.

K dosažení relevantnějších výsledků v korelační i regresní analýze bude autorský tým v dalších fázích výzkumu kategorizovat data dle specifických provozních a infrastrukturních kritérií. Zároveň se jedná o hypotézy, které budou statisticky testovány:

- rychlost má v závislosti na své velikosti proměnný podíl na celkové ekvivalentní hladině akustického tlaku (ve [2] stanoveno rozdělení na pásmo do a nad 60 km/h),
- vztah mezi ekvivalentní hladinou akustického tlaku a okamžitou změnou rychlosti, tj. zrychlením, kdy existuje předpoklad, že při zrychlování se může do celkové ekvivalentní hladiny akustického tlaku promítat vliv hlučnosti motoru tažného vozidla a při brzdění vliv tření špalků o dvojkolí, resp. destiček o kotouče,
- průjezd výhybkou či výhybkovou konstrukcí způsobí patrně lokální navýšení maximální hladiny akustického tlaku, z níž je následně kalkulována i ekvivalentní hladina akustického tlaku – vlastní kategorie dat pro výhybky a výhybkové konstrukce tak zamezí i nesprávné indikaci zvýšené hlučnosti daného traťového úseku z důvodu defektu na infrastruktuře (pojízdní výhybky či výhybkové konstrukce s lokálním přerušením jízdní dráhy způsobuje opodstatnitelné zvukové rázy),
- vliv staveb a konstrukcí železničního spodku, u nichž může být vliv na výslednou hodnotu ekvivalentní hladiny akustického tlaku, např. mosty, tunely, nástupiště, protihlukové stěny atd.

6. Závěr

Možnost využití analýzy emisí na styku kola a kolejnice pro stanovení kvality železničního svršku není doposud uzavřená a vyhodnocování dat doposud nepřineslo jednoznačný závěr. Provedené analýzy korelačních koeficientů potvrdily předpokládané závislosti mezi veličinami GPK, naopak analýza mezi vstupními parametry stavu trati a výstupní akustickou veličinou tak jednoznačné výsledky nepřinesla. Za účelem dosažení přesnějších výstupů, jež bude možné využít k diagnostice stavu železničního svršku, budou nyní prověřovány hypotézy závislosti rychlosti na celkové ekvivalentní hladině akustického tlaku a jeho možného ovlivnění zrychlením, vliv průjezdu výhybkovými konstrukcemi a přítomnosti staveb a konstrukcí železničního spodku, které mohou výrazně ovlivnit výslednou hodnotu hladiny akustického tlaku. Po získání závěrů o ovlivnění/neovlivnění akustického tlaku bude možné pokračovat v úspěšném dokončení metodiky HLUKOS, která nabídne

plošnou a v případě rozšíření téměř spojitou diagnostiku železničního svršku bez nutnosti využití speciálního diagnostického vozidla.

Literatura

- [1] SCHAUER, Pavel. Akustika. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-214-2069-3.
- [2] VAŠICA, David. Modelování hluku v železniční dopravě. Praha, 2013, 134 s. Disertační práce. ČVUT v Praze Fakulta dopravní. Vedoucí práce Kristýna Neubergová.
- [3] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. ISO 11819-2:2017, Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method. 2017.
- [4] TÝFA, Lukáš et al. Projekt výzkumu a vývoje programu ALFA Technologické agentury České republiky č. TA01030087 – Závěrečná zpráva projektu. Praha: ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů, 2014.

Poděkování

Tento příspěvek byl spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci projektu CK03000099 Dynamická opto-akustická metoda hodnocení emisní hlučnosti železničního svršku Programu Doprava 2020+.

Parametry ovlivňující elektrizaci tratí v souvislosti s nasazením vozidel s akumulátorem

Ing. Jiří Krejčí,

ČVUT v Praze Fakulta dopravní

Konviktská 293/20, 110 00, Praha 1 – Staré Město

e-mail: krejcyj31@fd.cvut.cz

Abstrakt

Předmětem tohoto článku je návrh nástroje na podporu rozhodování o tom, zda určitý traťový úsek souvisle elektrizovat či nikoli. Prozatímní nástroj je založen na rozhodovacím diagramu a vícekritériálním hodnocení. V současném stavu jsou navrženy parametry pro hodnocení.

Klíčová slova

Železniční doprava, životní prostředí, alternativní pohony, jednotky BEMU, elektrizace, modernizace

Parameters affecting the electrification of railway lines in relation to the deployment of battery-powered vehicles

Abstract

The subject of this article is the proposal of a decision-support tool for determining whether or not to continuously electrify a specific railway section. The preliminary tool is based on a decision diagram and multi-criteria evaluation. Parameters for assessment have been proposed in the current state

Keywords

Rail transport, environment, alternative drives, BEMU units, electrification, modernization

1. Úvod

Železniční síť České republiky lze považovat za jednu z nejhustších sítí v Evropě. K 31.12.2023 dosáhla celková délka veřejných tratí 9 349 km, tedy na 1 000 km² území našeho státu připadalo zhruba 118,5 km tratí. Impulsem, jehož výsledkem byla výstavba velké části této zmíněné sítě, byla průmyslová revoluce a snaha lidstva si jednotlivé práce zjednodušit, zrychlit. Především vynález parního stroje a jeho zdokonalování ukázaly, že animální síla užívaná po desetiletí může být nahrazena. Postupný vývoj a především objeve fosilních paliv a využití jejich energie zapříčinily postupné opuštění parní trakce. Je ale zapotřebí si uvědomit, že žádná věc nemá pouze kladné stránky. Lidská činnost byla sice zjednodušena, ale důsledkem bylo a je poškozování životního prostředí. Aby nedocházelo k poškození naší planety v budoucnosti, je kladen důraz na takzvaný udržitelný rozvoj. To znamená, že mají být uspokojovány lidské potřeby, ale nikoli na úkor následujících generací.

Jak z předchozího odstavce vyplývá, největší problém představují vozidla nezávislé trakce využívající ke svému pohybu spalovací dieselový motor na zmíněná fosilní paliva (představující primární energii). Uvedená paliva jsou spalováním přeměněna na sekundární energii, která je následně využita k samotnému pohybu. Právě během spalování dochází k přeměně uhlíku obsaženého ve fosilních palivech na oxid uhelnatý (při nedokonalém spalování ve spalovacích motorech) a oxid uhličitý, tyto plyny jsou následně uvolněny do atmosféry. Je důležité si uvědomit, že za období, kdy lidstvo využívá zmíněná paliva, došlo ke zvýšení hladiny oxidu uhličitého v zemském obalu z původních 3 500 miliard tun na současných 5 200 miliard tun. Tento velký nárůst zapříčinil narušení tepelné izolační schopnosti obalu naší planety a s tím se pojí i nadále vznikající nenávratné klimatické změny. Aby byl i v budoucnosti dodržován udržitelný rozvoj, a nedocházelo tak k opakovanému poškozování naší planety, tak se 195 zemí z celého světa, včetně České republiky, zavázalo přijmout Pařížskou dohodu OSN z prosince 2015, ve které stojí, že jednotlivé země zastaví oteplování Země na hodnotě 1,5–2,0 °C. Zároveň mezinárodní energetická agentura IEA stanovila, že je nutné do roku 2050 přestat spalovat uhlí, ropné produkty a zemní plyn. Z toho vyplývá, že jednotlivá odvětví využívající fosilní paliva mají zhruba 26 let na snížení své energetické náročnosti a na náhradu energie z uvedených paliv energií z obnovitelných zdrojů. Vystává otázka, zda je to technicky proveditelné, případně jakými způsoby. [2] [3]

Na české železnici je tedy zapotřebí zajistit náhradu vozidel nezávislé trakce. V tomto článku je představen návrh nástroje na podporu rozhodování, který umožní posoudit, zda je určitý traťový úsek vhodný k souvislé

elektrizaci¹, případně prověří, zda stávající infrastruktura postačuje pro provoz vozidel s akumulátorem. Princip nástroje by měl být založen na rozhodovacím diagramu a metodě vícekritériálního hodnocení. Daný nástroj bude průběžně upravován a upřesňován do konečné podoby.

2. Energetická náročnost železniční dopravy

Samotný sektor dopravy se v dnešní době zaměřuje na snížení spotřeby energie, snížení produkce oxidu uhličitého způsobujícího globální oteplování a snížení produkce emisí škodlivých látek vypouštěných do ovzduší. K těmto krokům se přistupuje jednak za podpory platné legislativy, zároveň ale pomocí různých dotačních programů. Je zapotřebí si uvědomit, že spotřeba energie v dopravě tvoří v České republice 27 %, pro porovnání průmysl tvoří 31 %. [1]

I když lze považovat železniční dopravu za jednu z nejvíce šetrných k životnímu prostředí, nacházejí se i v tomto druhu dopravy oblasti, které pro naši planetu nejsou příliš vhodné. Tím jsou vozidla využívající k pohybu fosilní paliva. Jak již bylo uvedeno v úvodu, v České republice bylo na konci minulého roku 9 349 km tratí, z toho zhruba dvě třetiny jsou tratě neelektrizované, tedy s provozem vozidel nezávislé diesellové motorové trakce. Z toho vyplývá, že aktuálním nástrojem k intramodálním úsporám konečné spotřeby energie v dopravě je náhrada spalovacího motoru. V dnešní době představuje nejlepší náhradu elektromotor, respektive náhrada vozidel nezávisle trakce vozidly trakce závislé.

Spalovací motor dosahuje účinnosti zhruba 30 % v porovnání s elektrickým trakčním motorem s účinností zhruba 75 % (v obou případech se jedná o směrnou hodnotu účinnosti). Samotný elektromotor dosahuje účinnosti téměř 95 %, avšak uvedená hodnota zahrnuje kromě trakčního motoru i mechanické převody, polovodičové měniče, pomocná zařízení a přenos elektrické energie mezi distribuční elektrickou sítí a vozidlem. Mezi další faktor spojený s nasazením elektrické vozby náleží úplné odstranění zdravotně závadných emisí zplodin hoření (přeměna z primární na sekundární energii), a to jak během pohybu vozidla, tak i během dob pobytu v jednotlivých žel. stanicích (žst.) či zastávkách, kdy diesellové motory běží na volnoběh. Dále dojde k výrazné zvýšení rychlosti a k poklesu nákladů na údržbu vozidel. Zároveň ale lze oponovat, že výroba elektrické energie nemusí být vždy ekologicky šetrná pro naši planetu. Největší problém v energetickém odvětví představují uhelné elektrárny. I ty jsou dnes nahrazovány jadernými

¹ Souslovím „souvislá elektrizace“ se má na mysli zřízení trolejového vedení a nutných souvisejících pevných trakčních zařízení v délkách překračujících délku jedné stanice. Na rozdíl od „bodových dobíjecích míst“, která mohou využívat jednotky BEMU a o nichž bude pojednáno dále (viz kapitola 5).

elektrárnami anebo se pro výrobu elektrické energie využívají obnovitelné zdroje (voda, vzduch a slunce). Samotná elektrická vozidla dokáží vyrábět elektrickou energii, a to během rekuperačního brždění při brždění, jízdě výběhem nebo po spádu.

[1]

3. Modernizace české železnice

V předchozí kapitole bylo řečeno, že podíl elektrizovaných tratí v České republice je zhruba třetinový. Zároveň se zde odehrává největší část přepravního výkonu, a to zhruba 95 %. Je tedy neoddiskutovatelným faktem, že elektrická trakce je díky svým kladným vlastnostem (vysoká účinnost, rekuperace při brždění, snížení produkce škodlivých látek) nejvíce vhodná pro pohon drážních vozidel. Z tohoto důvodu je dnes kladen důraz na rozvoj elektrizace dalších tratí pomocí střídavé napájecí soustavy 25 kV, 50 Hz a zároveň konverzi ze stejnosměrného napájecího systému 3 kV, který je investičně a provozně dražší než systém střídavý. V roce 2023 zpracovalo Ministerstvo dopravy „Koncepti rozvoje elektrické trakce v České republice“, která představuje předpokládaný postup elektrizace modernizovaných tratí, prosté elektrizace a konverze stejnosměrné trakční soustavy, a to vše v několika časových výhledech. Termíny realizace staveb, jak se uvádí i ve zmíněné koncepci, mohou být ovlivněny procesními i stavebně-povolovacími procesy a mohou být během přípravy upřesňovány (obvykle spíše směrem k prodloužení doby realizace stavby než k jejímu zkrácení). To budí nejistotu v oblasti očekávaných budoucích parametrů infrastruktury, a to v krátkodobém i střednědobém výhledu, která se jednoznačně propíše i do požadavků na vozidla. [2] [4]

Objednatelé veřejné železniční dopravy (Ministerstvo dopravy, jednotlivé kraje) naznačují nejistotu z hlediska uzavírání smluv o závazku veřejné hromadné dopravy. Tím se má na mysli, že kromě jiného sledují hledisko výstavby a rozvoje železniční dopravy, a to nejen k průběhu elektrizace či konverzi napěťových soustav, ale také k zavádění výhradního provozu nového zabezpečovacího systému ETCS. Snahou objednatelů je smysluplná a ekonomická obnova vozového parku, kdy se životnost vozidla nejčastěji uvažuje 30 let. Z tohoto důvodu objednatelé posuzují aktuální i budoucí stav dopravní infrastruktury. [2]

Jak již bylo několikrát řečeno, dnes je kladen důraz na ekologii a udržitelný rozvoj. Slabou stránkou železnice v tomto ohledu je provoz dieselové motorové trakce, tedy vozidel nezávislé trakce. Proto je dnes více než kdy jindy snahou objednatelů nahradit tato vozidla především na regionálních tratích vozidly s alternativními pohony (viz kapitola 4). Kromě ekologické stránky se touto obměnou může vyřešit problematika nákladného a mnohdy neekonomického,

a tudíž nerealizovatelného vybavování již odepsaných železničních vozidel palubními jednotkami ETCS nebo nasazování ojetých dieselových vozidel ze zahraničí. Zároveň lze říci, že při nasazování uvedeného typu vozidel do pravidelného provozu může v konečném důsledku snížit požadavky na plnou elektrizaci v České republice anebo alespoň poskytnou více času na přípravu projektu, případně využít finance na jiné projekty zlepšující železniční síť. [2]

4. Vozidla s alternativními pohony

V dnešní době jsou nejvíce rozšířené dva typy vozidel s alternativními pohony. Prvním z nich jsou vozidla využívající ke svému pohonu vodík. Tento plyn je přeměněn v palivovém článku na vodní páru a na elektrickou energii, která je následně využita v elektromotoru pro pohyb vozidla. Druhým typem jsou vozidla, která mají uschovanou energii v elektrochemickém akumulátoru, zpravidla lithiovém. Energie uložená v zásobníku je stejně jako v předchozím případě využita v elektromotoru pro pohyb samotného vozidla.

Vozidla využívající palivový článek jsou označována zkratkou HMU (hydrogen multiple unit). V případě, že vozidlo současně umožňuje odběr elektrické energie z trakčního vedení, je označováno zkratkou HEMU (hydrogen electric multiple unit). Největší výhodou těchto vozidel (jak HMU, tak HEMU) je dlouhý dojezd, který se může pohybovat v rozmezí 600 km až 800 km. Naopak nevýhodou představuje samotný plyn. Aby mohl být vodík využíván v palivovém článku, musí dosahovat čistoty alespoň 99,97 %. Z toho vyplývá, že v oblastech s velkou koncentrací chemických závodů, kde je vodík produkován jako odpadní produkt, není možné jeho okamžité využití v palivovém článku. V České republice tak prozatím není uspokojivá produkce tohoto plynu a zároveň ani dostatečná infrastruktura pro jeho distribuci. Mezi další nevýhody patří jeho vysoká hořlavost a výbušnost, a je tedy nutné jej skladovat ve vysoce odolných a těžkých nádobách. Z výše uvedených informací vyplývá, že nasazení vozidel s palivovým článkem do pravidelného provozu v České republice není prozatím výhodné. V roce 2024 společnost ÚJV Řež, a. s. zveřejnila studii, kdy na některých tratích české železniční sítě naopak vozidla s vodíkovým pohonem doporučuje. Avšak v závěru zprávy společnost uvádí stejné tvrzení, jako v tomto odstavci. A to, že provoz závisí především na ceně výroby samotného plynu. Zároveň je v textu diskutována možnost využití odpadního vodíku, nicméně jeho případné čištění a cena tohoto procesu není zmíněna. [1] [5]

Vzhledem k prozatímní elektrizaci železniční sítě v naší republice se jako více perspektivní jeví provoz vozidel se zásobníkem energie v podobě elektrochemického akumulátoru. Tato vozidla, označována jako BEMU

(battery² electric multiple unit), jsou právě nejvíce vhodná na regionální tratě, kde není a v nejbližší době není uvažováno o souvislé elektrizaci. Zároveň jsou tato vozidla vhodná při uvažování výstavby liniové elektrizace ve výhledu 8–10 let. Životnost akumulátoru je oproti životnosti jednotky BEMU (zhruba 30 let) poloviční, a je tedy nutné akumulátor alespoň jednou vyměnit. Zároveň ale vozidlo umožňuje po vyjmutí akumulátoru svůj provoz stejně jako běžné elektrické jednotky (závislé trakce). Takto lze právě překonat období, než dojde k elektrizaci konkrétní trati, a zároveň nebude nutné nakupovat nová vozidla. [1]

5. Nástroj na prověření elektrizace a elektrických vozidel s akumulátorem

Při návrhu pravidelného provozu jednotek BEMU je zapotřebí posoudit několik aspektů. Mezi hlavní záležitosti prověření patří možnosti obnovy energie a kapacita v akumulátoru. S tím souvisí dojezd jednotky, který se pohybuje okolo 60–80 km v případě, kdy možnosti obnovy energie v akumulátoru, respektive nabíjení akumulátoru je umožněno v obou obrátových stanicích (nabíjení statické). Pro prodloužení vzdálenosti, které je vozidlo schopno na jedno nabití ujet, je možné využít liniové vedení (jestliže se nachází na trase dané linky), kde vozidlo pro svůj pohyb odebírá energii z trakčního vedení a zároveň využívá energii pro obnovu energie v akumulátoru (nabíjení dynamické). Mezi další možnosti lze zařadit takzvanou nabíjecí armaturu, kde se jedná alternativu krátkého úseku trolejového vedení. Zde je využit ISO kontejner jako mobilní transformovna a předpokládá se využití distribuční sítě 3x22 kV. Rozdílem je využití jediné podpěry s krátkým (řádově několik metrů) úsekem pevné troleje, který nahrazuje konvenční trolejové vedení. Toto zařízení může být využito v žst., kde se křižují jednotlivé spoje. Kromě provozních záležitostí je zapotřebí řešit i ekonomickou stránku těchto vozidel, jelikož jsou zhruba o 30–50 % dražší než běžné elektrické jednotky. [1]

Jak již bylo uvedeno, dnešní snahou je elektrizovat českou železniční síť (viz kapitola 3). Je ale zapotřebí brát v potaz cenu všech součástí pevných trakčních zařízení, tedy nejen trakčního vedení, ale zejména trakčních napájecích stanic. Na některých tratích by ale nemuselo být liniové vedení plně využito. Cílem je tedy vytvořit nástroj, který na části železniční sítě určí, které tratě jsou perspektivní pro souvislou elektrizaci

² V české terminologii je baterie z pohledu elektrochemického zdroje energie soubor jednoho a více primárních článků, tedy těch, které se nedají opětovně dobíjet. Akumulátor (v anglické terminologii battery) je elektrochemický zdroj, který se skládá z jednoho a více sekundárních článků, tedy těch, které je možno po vybití opakovaně nabíjet. [6]

a které pro provoz vozidel s akumulátorem. Samotný návrh tohoto nástroje ve formě vývojového diagramu je součástí přílohy k tomuto článku.

Aby byl nástroj funkční, je zapotřebí si na úvod stanovit dvě určité skupiny parametrů. První skupinu tvoří parametry, které budou hodnoceny. Druhá skupina pak představuje způsob hodnocení, respektive přiřazování bodového ohodnocení. Zároveň jednotlivé hodnocené parametry budou mít určité váhy. Ve stávající rozpracované verzi tohoto nástroje jsou prozatím stanoveny hodnotící parametry, které jsou popsány v následujících kapitolách.

5.1. Infrastruktura

Prvním hodnocením, které určí, zda je daná trať vhodná pro elektrizaci, jsou její parametry a technický stav. Jestliže je trať ve špatném stavu, nepřináší žádnou velkou perspektivu. Z hlediska významnosti dané trati je prvním faktorem pro hodnocení traťová rychlost. Každý uživatel tohoto nástroje si stanoví hodnotu požadované traťové rychlosti a následně dojde k porovnání se skutečnou traťovou rychlost. Na základě porovnání bude k parametru traťové rychlosti přiřazena hodnota ohodnocení. Na stejném principu hodnocení je určena třída zatížení. Čím vyšší je třída zatížení, tím více perspektivní může být trať pro nákladní dopravu, a tedy by bylo vhodnější ji elektrizovat. Nesmí se ani opomenout umístění zařízení pro osobní i nákladní dopravu, jestliže je železniční stanice mimo dané sídlo nebo je značně vzdálená od centra osídlení, nebude železniční doprava tak perspektivní, jako individuální automobilová doprava anebo veřejná linková doprava (autobusy). Kladnější hodnocení dané trati ale mohou přinést přestupní vazby a spolupráce s autobusovou dopravou, individuální automobilovou dopravou anebo dnes častěji rozšířenou dopravou cyklistickou (mohou být využita elektrokola i elektrokoloběžky). Ke zlepšení hodnocení dané trati může dojít, jestliže se předpokládá ze strany provozovatele dráhy rekonstrukce či modernizace.

5.2. Provoz

Další okruhem pro hodnocení je oblast provozu. Záleží, jaký je stávající provoz na dané trati a zdali je výhledově uvažováno s jeho navýšením. Zde je důležité, aby nedošlo k pohledu pouze ze strany objednatele, ale aby byl nástroj stále objektivní. V případě objednatele existují dvě výrazné situace. Jestliže by bylo možné převést cestující z jiného dopravního módu, například železniční doprava by po rekonstrukci trati byla výhodnější, než stávající autobusová doprava, tak to objednatel neudělá. Problém spočívá v neochotě objednatele opouštět zavedené zvyklosti. Druhým případem je, že objednatel objedná kapacitnější vozidlo na danou linku, než je potřeba. Uživatel opět na úvodu stanoví, jakou aktuální hodnotu intenzity provozu považuje za perspektivní pro danou trať. Intenzita se stanoví jak pro dopravu osobní,

tak i nákladní. Důležité je neopomenout nákladní dopravu, jak je zde uvedeno. Jestliže bude intenzita nákladní dopravy vyšší než osobní, přispívá tento fakt spíše k elektrizaci trati než k provozu vozidel s akumulátorem. S tím souvisí následující hodnocení, kdy se stanovuje, jaký provoz na dané trati je aktuální.

Potenciální cestující je zapotřebí získat i z cílů, které leží přímo anebo i mimo danou trať. Pro perspektivnost dané trati je důležité posoudit například, zda se v okolí trati nachází významný zaměstnavatel, jehož zaměstnanci mohou železniční dopravu využít pro svoji přepravu do zaměstnání, tak i pro přepravu surovin či hotového zboží. Mezi významné cíle pro osobní dopravu mohou nadále být služby, sociální zařízení anebo vzdělávací instituce. Jestliže se na trati žádný z nyní jmenovaných cílů nenachází, ale trať je například alespoň částečně pro jízdu vozidla mezi významnými cíli využita, bude lépe hodnocena než v případě, kdy se na dané trati žádný cíl nenachází. Kromě každodenních cílů cesty je možné trať využít pro návštěvu turistických míst. Zde je zapotřebí ale rozlišit, zda je provoz místa celoroční anebo sezónní.

Významnost trati může vzrůst, jestliže je konkurenceschopná i při stávajícím stavu individuální automobilové dopravy anebo ostatní veřejné hromadné dopravy. Důležitost tratě může nastat v případě rozvoje v jejím okolí. Například výstavba nového sídla nebo výrobního závodu firmy může zajistit nová pracovní místa a s tím se pojí i přeprava zboží a surovin potřebných pro výrobu nebo pro odbyt výrobků.

5.3. Význam trati

Dřívější rozhodnutí o elektrizaci trati může způsobit, že trať je součástí některého z koridorů, ať už se jedná o vnitrostátní tranzitní koridory, tak evropské koridory. Zároveň lepší ohodnocení se přiřadí, pokud je trať součástí sítě TEN-T. Pro hodnocení je důležité, zda je využívána trať v celé své délce anebo pouze částečně. Ohodnocení v tomto případě bude násobeno procentuálně (viz schéma). Tento bod je velice důležitý, jelikož může nastat situace, že část tratě, která bude intenzivně využívána, bude elektrizována. Na zbylé části pak mohou být do pravidelného provozu nasazeny jednotky BEMU, kterými se prodlouží dojezd, jelikož se budou moci dynamicky nabíjet na elektrizovaném úseku.

Vzhledem k tomu, že dnes jsou páteřní tratě tuzemské železniční sítě téměř na hraně své kapacity, je velice neuspokojivé, když dojde k nějaké nenadálé situaci. Je tedy možné uvažovat při návrhu elektrizace dané trati, zda by mohla být využita jako objízdná nebo nikoliv. Jako velice častý příklad lze zmínit vznik nenadálé situace v okolí žst. Pečky a následné využití objízdne trasy ze žst. Kolín přes žst. Nymburk zpět do žst. Poříčany.

5.4. Technické zařízení trati

Součástí elektrizace není pouze výstavba trakčního vedení, ale také požadovaná distribuční síť a potřebná pevná trakční zařízení bodová, jakými jsou například spínací stanice a zejména trakční napájecí stanice. V rámci rozhodovacího nástroje je nejprve uživatel vyzván k odpovědi, zda je vhodné danou trať elektrizovat. Jestliže je odpověď „ANO“, následuje otázka, zda lze uvažovat s výstavbou trakčního vedení a souvisejících zařízení v horizontu 10 let. Právě to by bylo období, kdy by mohla být nahrazena vozidla nezávislé trakce vozy s akumulátory. Následuje hodnocení, zda je stávající napájecí infrastruktura dostačující k případné elektrizaci anebo zdali bude nutná její modernizace anebo výstavba infrastruktury nové.

5.5. Rozhodnutí o elektrizaci trati a následné posouzení pravidelného provozu vozidel s akumulátorem (BEMU)

Na základě předchozího hodnocení dojde k posouzení jednotlivých tratí, zda je vhodnější danou trať elektrizovat anebo je vhodnější uvažovat o nasazení BEMU jednotek do pravidelného provozu.

Následné prověření vozidel s akumulátorem by bylo založeno na takzvané dvousložkové metodě. Ta pracuje na principu sčítání energie potřebné pro ujetí 1 km vozidla a energie potřebné pro 1 hodinu provozu pomocných pohonů. Jedná se o nejjednodušší metodu pro prvotní posouzení, která 100 % nestanoví, zda infrastruktura pro provoz zmíněných vozidel dostačující. Metoda stanoví, zda navrhované vozidlo s akumulátorem patřičné kapacity bude schopno ujet konkrétní vzdálenost mezi místy s možností obnovy energie v akumulátoru, doby pobytu potřebné k obnově energie, nabíjecí příkon a další. Závěrem je zapotřebí posoudit, zda vozidlo splňuje požadavky objednatele dopravy na komfort a další požadované záležitosti. Detailnější popis této metody je uveden v diplomové práci autora tohoto článku a v odborné časopisu „Nová železniční technika“. [1] [7]

5.6. Závěr rozhodovacího nástroje

Závěrem rozhodovacího nástroje je určení, které tratě v dané oblasti jsou vhodné pro elektrizaci a které tratě jsou vhodné pro prověření nasazení vozidel s akumulátorem do pravidelného provozu. Kromě tohoto hodnocení je důležité, aby byla prověřena i ekonomická stránka celého projektu a došlo k porovnání jednotlivých řešení.

Příkladné využití rozhodovacího nástroje je v oblasti severovýchodních Čech (kraje Liberecký, Pardubický a Královehradecký s přesahem do kraje Středočeského). Jedná se o oblast, kde významná část tratí není elektrizována. Zároveň se zde nacházejí tratě, které jsou významné, jelikož

jsou po nich vedeny například rychlíkové linky. Tento nástroj by posoudil, které tratě jsou vhodné pro elektrizaci, případně kam umístit jednotlivé napájecí body pro provoz vozidel BEMU.

6. Závěr

Tento článek byl vytvořen pro představu prvního návrhu nástroje na podporu rozhodování o posouzení elektrizace anebo nasazení vozidel jednotek BEMU do reálného provozu.

Nejprve byla představena problematika spotřeby energie v dopravě a především s tím spojená produkce škodlivých látek do ovzduší. V článku byl dále porovnán přepravní výkon na elektrizovaných a neelektrizovaných tratích v České republice. Dále byly posouzeny účinnosti vozidel závislé a nezávislé trakce. Nejvyšších hodnot dosahují vozidla s elektromotorem, naopak oproti vozidlům, která jako primární zdroj energie využívají fosilní paliva. Právě fosilní palivo je spalováním přeměněno na energii sekundární. Během procesu hoření dochází k produkci oxidu uhličitého a dalších škodlivých exhalací, které jsou nežádoucí.

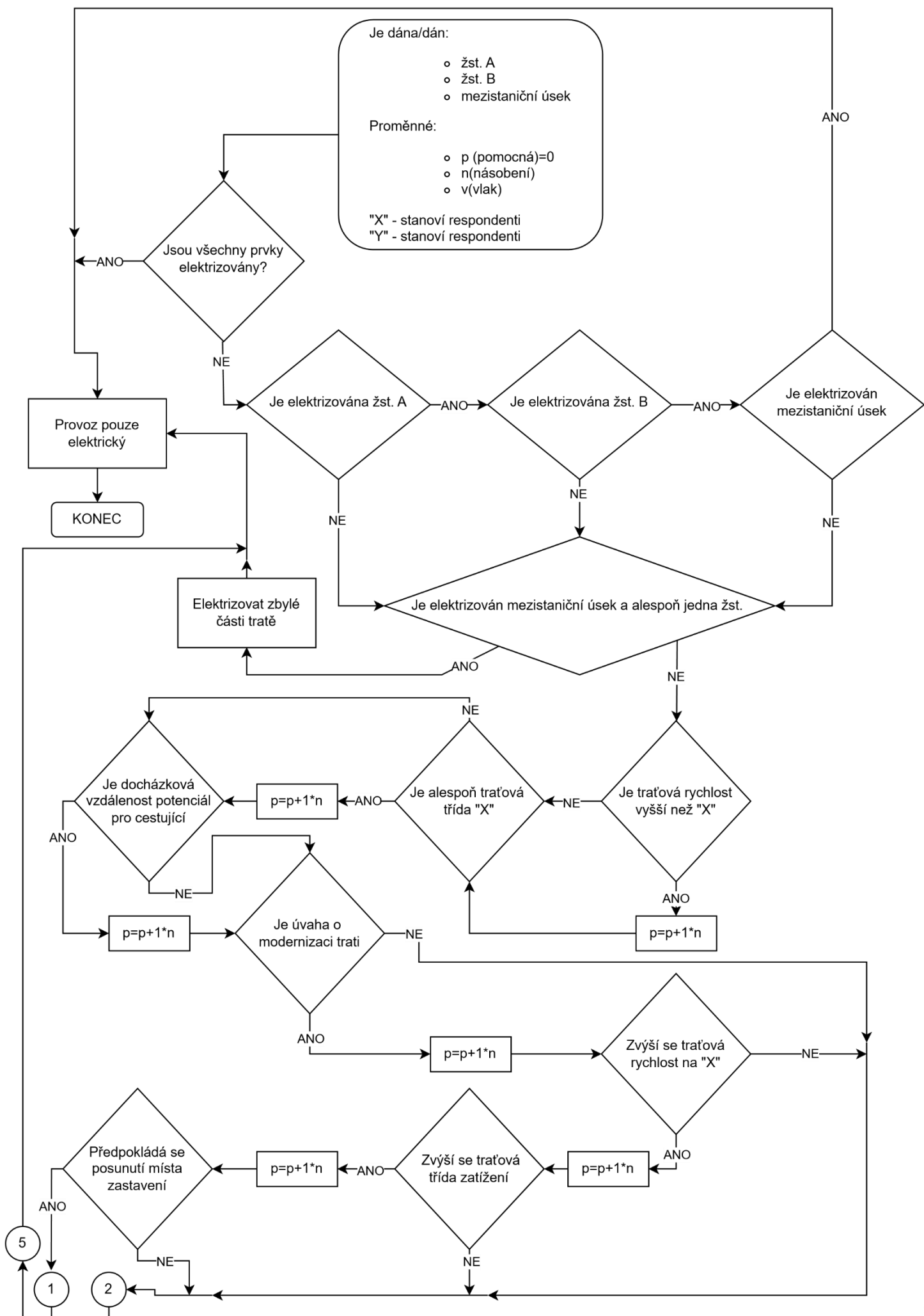
Následně byl představen princip náhrady vozidel se spalovacími motory. V dnešní době se jedná buď o výstavbu trakčního vedení (s tím spojená i konverze trakční napájecí soustavy) anebo o náhradu vozidel nezávislé trakce vozidly využívající ke svému pohybu alternativní pohony. Zároveň byly představeny otázky objednatelů železniční dopravy spojené právě s nahrazením vozidel závislé trakce.

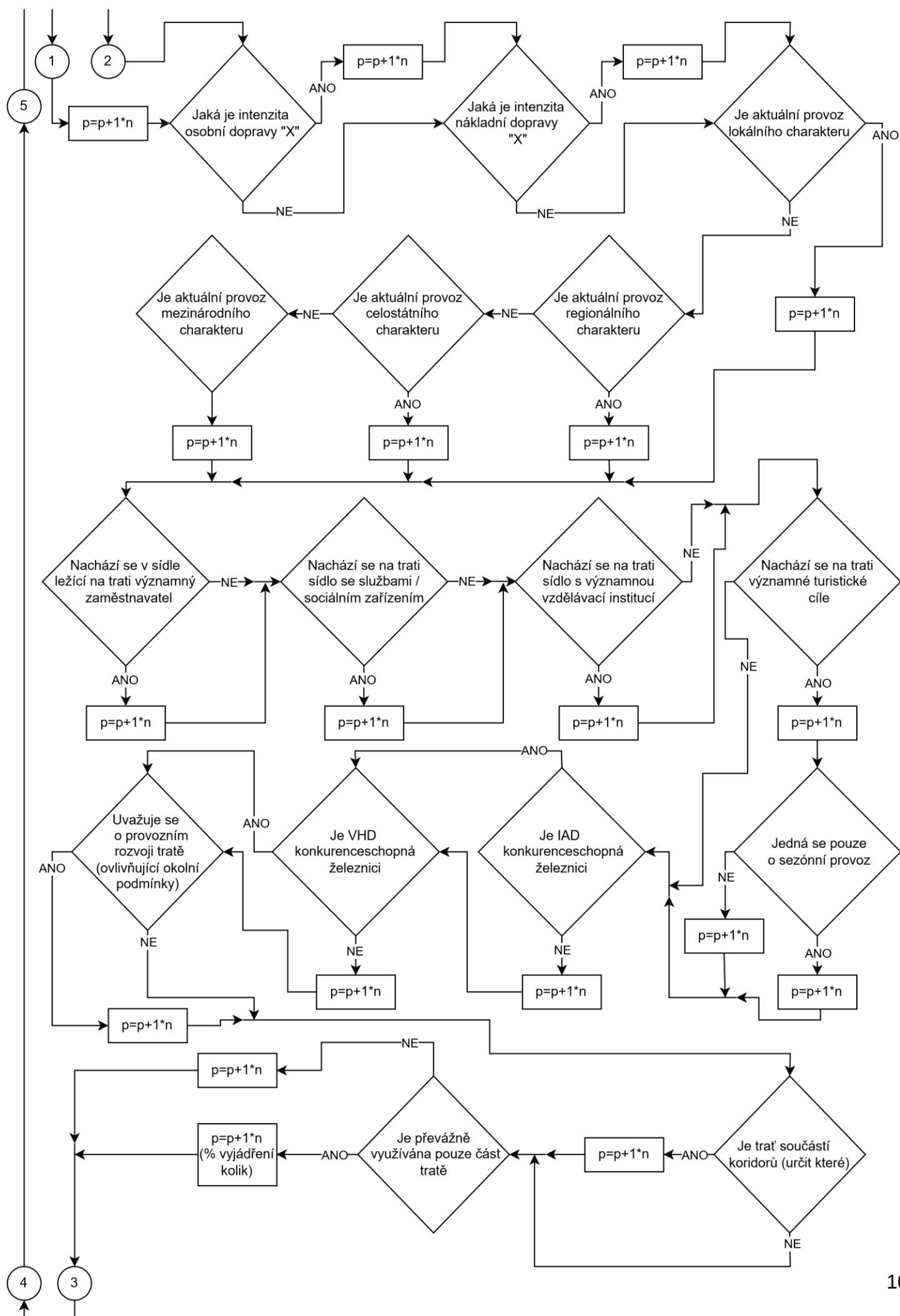
Dále byly porovnány jednotlivé druhy alternativních pohonů. Na území České republiky jsou více perspektivní vozidla s akumulátorem.

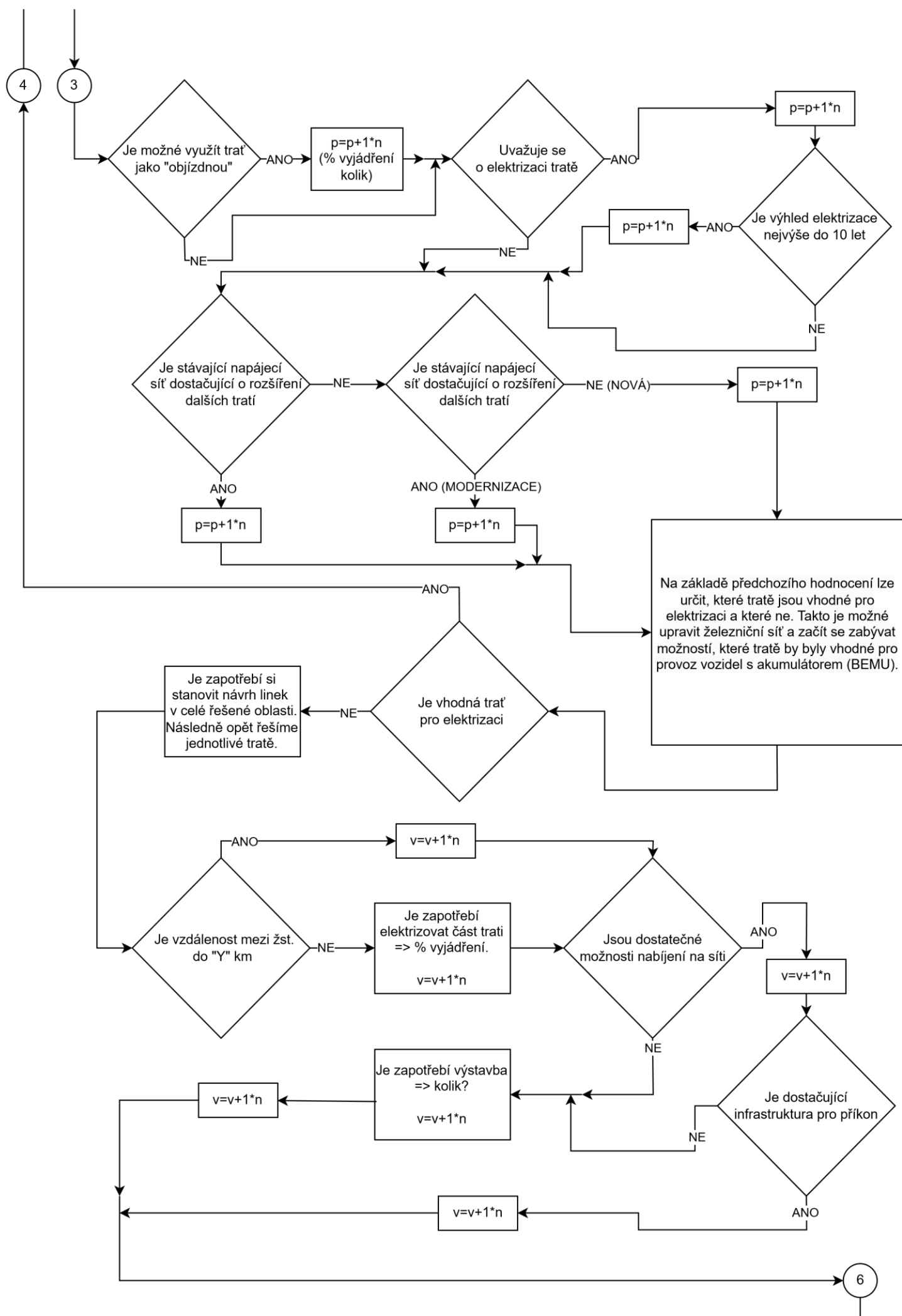
Byl představen i návrh nástroje na posouzení, zda je vhodné uvažovat o elektrizaci dané tratě anebo spíše se zabývat nasazením jednotek BEMU do pravidelného provozu. Samotný nástroj by měl založen na rozhodovacím diagramu a vícekritériálním hodnocením. Prozatím se jedná o rozpracovaný návrh tohoto nástroje. Na úvod je zapotřebí stanovit parametry, které je nutné hodnotit a které mají vliv na elektrizaci. Prozatím byly stanoveny kategorie infrastruktura, provoz, význam trati a technické zařízení. Dále pak pro tratě, kde by měl být uvažován provoz jednotek BEMU, je stanoveno primární prověření na základě dvousložkové metody. Ta spočívá ve sčítání energie pro trakci, respektive energie potřebné pro pohyb vozidla a pro příkon pomocných pohonů (vytápění/klimatizace, kompresory, osvětlení).

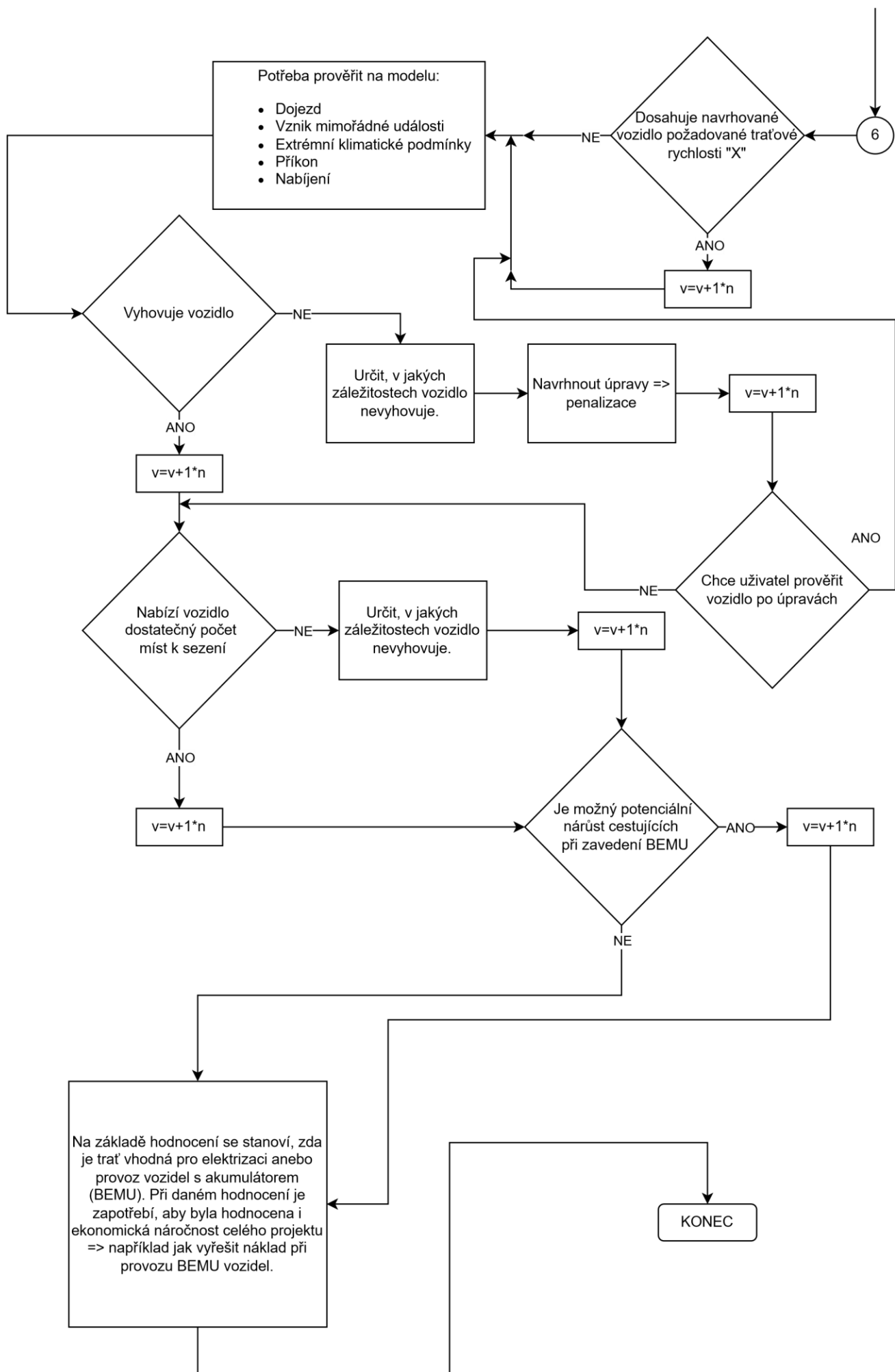
Literatura

- [1] KREJČÍ, Jiří: *Možnosti provozu jednotek BEMU na linkách osobní regionální železniční dopravy*. Praha, 2023. Diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. Vedoucí práce doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D. [cit. 2024-08-27]
- [2] JACURA, Martin, ČÍŽEK, Jiří, KREJČÍ, Jiří, TREŠL, Ondřej: *Bezemisní dálková železniční doprava v ČR v kontextu koncepce rozvoje elektrické trakce v ČR*. Praha, 2024, Neveřejný dokument, Posuzovací dílo, zhotovitel ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Katedra dopravního inženýrství a dopravního plánování Konviktská 20, 110 00 Praha 1, objednatel ACRI, Pobřežní 224/20 186 00 Praha 8, [cit. 2024-08-27]
- [3] STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV: *Oxid uhelnatý*, Odborný text, [cit. 2024-08-28], dostupné z: <https://szu.cz/odborna-centra-a-pracoviste/centrum-zdravi-a-zivotniho-prostredi/oddeleni-hygieny-ovzdusi-2/vnitřni/oxid-uhelnaty/>
- [4] MINISTERSTVO DOPRAVY: *Koncepci rozvoje elektrické trakce v České republice*, Praha, 2023, Veřejný dokument, [cit. 2024-08-28], dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Zeleznicni-infrastruktura>
- [5] ÚJV ŘEŽ, a. s.: *Naše studie potvrdila, že alternativní pohony mohou být na české železnici konkurenceschopné*, Řež, 2024, Veřejný dokument, [cit. 2024-08-28], dostupné z: <https://www.ujv.cz/cs/aktuality/nase-studie-potvrdila-ze-alternativni-pohony-mohou-byt-na-ceske-zeleznici-konkurenceschopne-12742>
- [6] ŠŤASTNÝ, František: *Život baterie aneb Jak jezdit na baterky co nejdál a co nejefektivněji*, 2024, Článek z připravované brožury „Příběhy chytrých pomocníků, 2. vydání“, [cit. 2024-08-28], dostupné z: https://www.smartcityvpraxi.cz/moderni_technologie_111.php
- [7] KREJČÍ, Jiří: *Princip prověření provozuschopnosti dvouzdrojových železničních vozidel trolej/akumulátor (BEMU) na linkách osobní regionální železniční dopravy*. 2024, Odborný článek, Nová železniční technika [cit. 2024-08-28]









Název: Sborník příspěvků konference ŽELVA 2024

Editor: Ing. Magdalena Křečková
Bc. Ellen Michaeli

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze

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

ISBN: 978-80-01-07397-1

Vydání: druhé

Počet stran: 112

Praha 2025



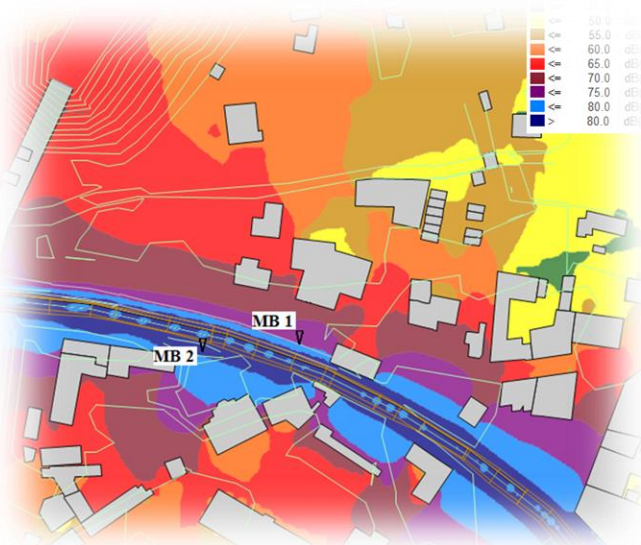
KATEDRA
ŽELEZNIČNÍCH STAVEB
FAKULTA STAVEBNÍ
ČVUT V PRAZE

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

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

KATEDRA
ŽELEZNIČNÍCH STAVEB

Thákurova 2077/7
Praha 6 – Dejvice
166 29



ISBN 978-80-01-07397-1